Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.:+65 62233839
E-mail:contact@nassg.org
Add.:12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

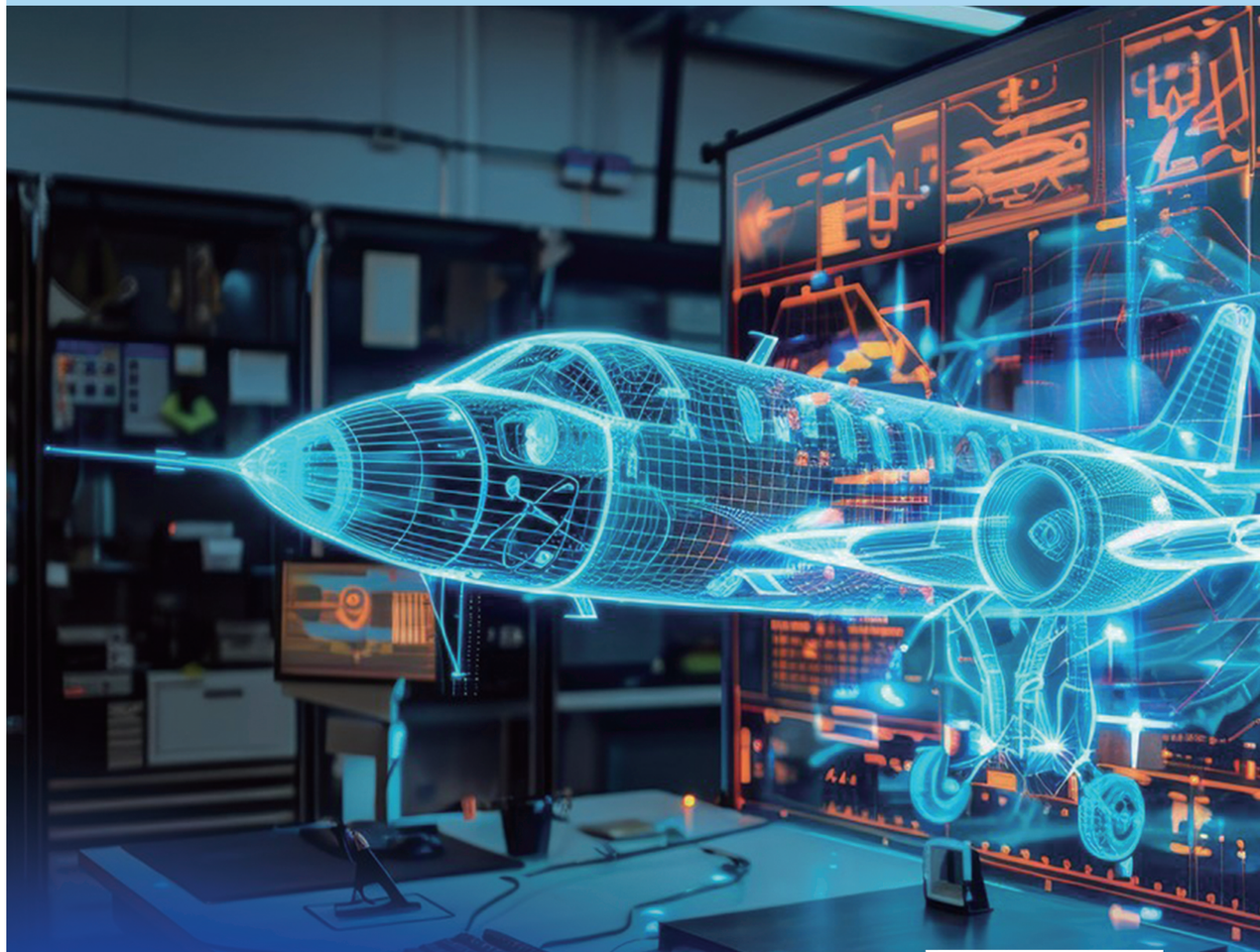
科技创新与工程 Technological Innovation and Engineering
Volume 2 · Issue 3 · March 2025 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)

NASS
NAN YANG ACADEMY OF SCIENCES

科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 3 March 2025 ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



Google Scholar
Crossref
cnki 中国知网 cnki.net

ISSN 3060-8996
03
9 773060 899259

中文刊名：科技创新与工程
ISSN：3060-8996（纸质）3060-8988（网络）
出版语言：华文
期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn
出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Technological Innovation and Engineering
ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)
Language: Chinese
URL: http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn
Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

Database Inclusion

Google Scholar

Crossref

China National Knowledge Infrastructure

版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名－非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819
Email: info@nassg.org
Tel: +65-65881289
Website: http://www.nassg.org

《科技创新与工程》征稿函

期刊概况：

中文刊名：科技创新与工程

ISSN：3060−8996（Print） 3060−8988（Online）

出版语言：华文刊

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- **稿件格式：**Microsoft Word
- **稿件长度：**字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- **测量单位：**国际单位
- **论文出版格式：**Adobe PDF
- **参考文献：**温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 3 March 2025
ISSN 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)

主　编

康继军

Jijun Kang

编　委

刘　敏　Min Liu

龚勤林　Qinlin Gong

陈　升　Sheng Chen

包　艳　Yan Bao

夏旭东　Xudong Xia

1 人工智能在食品安全快速检测中的技术突破与产业化发展研究
/ 周盈
4 人机协作在制造产线自动化控制中的模式与应用研究
/ 史今
7 轻量化大模型在实时军事决策中的应用研究
/ 王晓龙 李钦富 于修全 蔡俊
10 峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因的挖掘和生物信息学分析
/ 刘发旺 王爱华 张银 吕欣茹
13 食叶草功能性营养在宠物粮领域的应用与研究
/ 刘抗 柏英庭
16 变化环境下吉林西部水资源安全保障关键技术
/ 陈永明 宋阳 刘冬梅 张晓辉 朴永柱
19 时空波动动力学理论
/ 刘伟杰 刘建安
22 滴灌带回收装置的设计优化与田间应用效果评价
/ 宋旭慧
25 AI 技术在司法行政行业的大模型应用研究
/ 陈向荣
28 人工智能赋能的科技成果转化效率提升策略研究
/ 辛肖
31 药品检验的风险分析及质量控制措施研究
/ 阮金云
34 市政道路施工的混凝土路面摊铺方法与质控措施
/ 黄钊
37 J 城市道路照明单灯控制系统的应用和实践
/ 雷小雄
40 食品供应链数字化追溯技术对保障食品安全的作用机制与优化路径
/ 周盈

1 Research on technological breakthrough and industrialization development of artificial intelligence in rapid food safety detection
/ Ying Zhou
4 Research on the Mode and Application of Human Computer Collaboration in Manufacturing Production Line Automation Control
/ Jin Shi
7 Research on the Application of Lightweight LLMS in Real-time Military Decision-Making
/ Xiaolong Wang Qinfu Li Xiuquan Yu Jun Cai
10 Mining and bioinformatics analysis of Cinnamyl CoA Reductase gene in Emei strawberry
/ Fawang Liu Aihua Wang Yin Zhang Xinru Lv
13 Application and research of functional nutrition of Erythranthus in pet food
/ Kang Liu Yingting Bai
16 Key technologies for water resources security in western Jilin under changing environment
/ Yongming Chen Yang Song Dongmei Liu Xiaohui Zhang Yongzhu Piao
19 Theory of space-time wave dynamics
/ Weijie Liu Jian'an Liu
22 Design optimization and field application effect evaluation of drip irrigation tape recovery device
/ Xuhui Song
25 Research on the application of large models of AI technology in judicial administration industry
/ Xiangrong Chen
28 Research on strategies to improve the efficiency of transformation of scientific and technological achievements enabled by artificial intelligence
/ Xin Xiao
31 Study on risk analysis and quality control measures of drug testing
/ Jinyun Ruan
34 Methods and quality control measures for concrete pavement laying on municipal roads
/ Zhao Huang
37 Application and practice of single lamp control system for urban road lighting
/ Xiaoxiong Lei
40 The mechanism and optimization path of digital traceability technology in food supply chain to ensure food safety
/ Ying Zhou

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6587

Research on technological breakthrough and industrialization development of artificial intelligence in rapid food safety detection

Ying Zhou

Two River Cloud Top International Hotel Management Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract

Food safety has remained a critical global public health concern. With population growth, economic expansion, and accelerated globalization of trade, food safety challenges have grown increasingly complex. Traditional detection methods—characterized by high costs, time-consuming processes, and operational complexities—can no longer meet the demands for rapid food safety verification. The rapid advancement of artificial intelligence (AI) technology has introduced innovative solutions to this challenge. Notably, AI applications in areas like image recognition, machine learning, and deep learning have achieved significant breakthroughs in rapid food safety testing. Through rapid analysis, real-time monitoring, and automated decision-making of food samples, AI not only enhances detection efficiency and accuracy but also makes food safety inspections smarter and more convenient. This paper examines technological breakthroughs in AI-based rapid food safety testing, discusses current industrial applications and challenges, and proposes future development trends and recommendations. Research indicates that while AI holds vast potential for rapid food safety detection, it faces challenges including technical standardization and data privacy protection, which urgently require industry collaboration to promote its maturation and widespread adoption.

Keywords

artificial intelligence; food safety; rapid detection; technological breakthrough; industrialization development

人工智能在食品安全快速检测中的技术突破与产业化发展研究

周盈

两江云顶国际酒店管理有限公司，中国·重庆 400000

摘　要

食品安全问题一直是全球范围内的重大公共健康问题。随着人口的增长、经济的发展及全球化贸易的加速，食品安全问题变得愈发复杂，传统的食品安全检测方法由于其高成本、耗时长、操作复杂等缺陷，无法满足食品快速检测的需求。近年来，人工智能（AI）技术的快速发展为食品安全检测提供了新的解决方案。AI技术，特别是在图像识别、机器学习、深度学习等领域的应用，已经在食品安全快速检测中取得了显著突破。通过对食品样品的快速分析、实时检测与自动化判断，AI技术不仅大大提高了食品检测的效率和准确性，还使得食品安全检测更加智能化、便捷化。本文将从AI在食品安全快速检测中的技术突破出发，探讨其在产业化发展中的应用现状与挑战，并提出未来的发展趋势与建议。研究表明，AI技术在食品安全快速检测领域的应用前景广阔，但也面临技术标准化、数据隐私保护等问题，亟待行业共同努力推动其成熟和普及。

关键词

人工智能；食品安全；快速检测；技术突破；产业化发展

1 引言

随着食品安全事件的频发，全球食品安全问题已经成为各国政府和社会关注的焦点。在传统的食品安全检测中，常用的方法包括化学分析、微生物检测、感官检测等，这些方法虽然有效，但存在周期长、费用高、操作繁琐等诸多问题，且无法实现食品安全的实时监控。随着信息技术的不断发展，人工智能技术在多个领域取得了显著进展，特别是在图像识别、数据挖掘、模式识别等方面的应用，为食品安全检测提供了新的技术手段。人工智能能够通过对食品图像和数据的快速分析，判断食品是否存在安全隐患，实现对食品的实时监控和快速检测，具有传统检测方法无法比拟的优势。人工智能在食品安全领域的应用不仅能够提升检测效率，降低检测成本，还能够改善食品安全监管的智能化水平。尽管人工智能在食品安全快速检测中展现了巨大的潜力，但

【作者简介】周盈（1983–），女，中国四川德阳人，硕士，中级职称，从事营养学、酒店管理研究。

其产业化应用仍面临技术标准化、数据质量、隐私保护等挑战。因此，本文将结合人工智能在食品安全检测中的技术突破与产业化发展，分析当前的应用现状和发展趋势，并对其未来发展提出建议。

2 人工智能在食品安全快速检测中的技术突破

随着人工智能技术的飞速发展，尤其是在深度学习和计算机视觉领域的突破，AI 技术在食品安全快速检测中取得了显著进展。人工智能能够通过处理大量的食品样本数据，快速、准确地识别食品中的有害成分或污染物，从而实现对食品安全的实时监控。AI 技术在食品安全快速检测中的应用，主要体现在以下几个方面。

2.1 图像识别技术的应用

图像识别技术是人工智能在食品安全检测中的重要应用之一。通过对食品的图像进行分析，AI 能够快速识别食品外观的异常，检测是否存在有害物质或污染。例如，通过图像识别技术，AI 可以检测食品表面是否存在霉斑、虫蛀、裂纹等问题，并通过深度学习算法识别食品的形态特征，从而进行分类与判断。在检测过程中，AI 系统不仅能够分析食品的表面形态，还能识别食品中的微小颗粒，如重金属、农药残留等，极大提高了食品检测的准确性和效率。

图像识别技术的优势在于其高效率和高准确性，传统的人工检测方式往往需要长时间的操作，而 AI 图像识别能够在短时间内完成大规模食品样品的检测，极大地提升了食品安全检测的效率和准确度。此外，AI 图像识别还能够降低人工检测中的误差，提高检测结果的可靠性。

2.2 机器学习与数据挖掘技术的应用

机器学习和数据挖掘技术在食品安全检测中也具有广泛的应用。机器学习可以通过对大量历史食品检测数据的学习，帮助 AI 系统识别出食品中潜在的安全风险。例如，通过分析不同类型食品的化学成分、微生物种群等数据，AI 可以在检测过程中通过模式识别出异常数据，从而判断食品是否安全。机器学习还可以通过对大量样本数据的训练，识别出食品中常见的污染源，从而实现对未知食品样本的快速预测和判断。

此外，数据挖掘技术通过对食品安全相关的海量数据进行分析，能够帮助相关监管部门实时监控食品安全状况，并预测潜在的食品安全风险。通过将这些技术与物联网(IoT) 相结合，可以实现食品供应链中每个环节的实时监控和预警，提高食品安全保障的整体水平。

2.3 深度学习技术的应用

深度学习技术在食品安全快速检测中的应用，主要体现在食品成分分析与异常检测方面。深度学习可以通过构建复杂的神经网络模型，对食品中各类成分进行自动化分析，并且能够从多维度提取特征，提高对食品中有害物质的识别能力。深度学习不仅可以在传统的食品质量控制过程中提高检测准确度，还可以通过模拟复杂的食品反应和污染情况，提前预测潜在的食品安全问题。

在实际应用中，深度学习可以帮助食品安全检测系统处理复杂的图像数据和结构化数据，提高系统的智能化水平。例如，深度学习可以分析食品的化学分子结构，并通过对比分析，快速检测出食品中的有害物质、重金属、农药残留等，帮助工作人员迅速识别不合格食品。

3 人工智能在食品安全快速检测中的产业化发展

随着人工智能技术在食品安全检测中的逐步成熟，AI 技术的产业化应用也取得了初步进展。通过与物联网、大数据、云计算等技术的结合，人工智能在食品安全快速检测中的产业化前景广阔。然而，要实现人工智能在食品安全快速检测中的全面产业化，还面临着技术、市场和政策等多方面的挑战。

3.1 技术挑战与标准化问题

人工智能技术在食品安全快速检测中具有广泛的应用前景，能够通过深度学习、图像识别、数据分析等方法对食品的质量和安全性进行实时检测。然而，尽管 AI 技术在食品安全检测中展现了巨大的潜力，但在实际应用中，技术标准化问题仍然是其产业化进程中的一大挑战。目前，市场上不同厂商推出的 AI 检测设备和软件系统存在技术差异和标准不一的问题，尤其是对于食品安全检测领域，涉及大量的法规要求和技术标准。这些标准和技术规范的差异，导致了 AI 食品安全检测设备和系统的互通性差、兼容性差，并使得 AI 技术在食品安全领域的应用推广面临一定的困难。

不同国家和地区对食品安全检测的标准各不相同，这也增加了技术应用的复杂性。例如，欧盟的食品安全标准与美国、中国等国的标准有所不同，可能导致相同的 AI 检测设备在不同市场的适应性差。食品安全检测涉及诸如微生物检测、化学残留检测、重金属检测等多个领域，而每个领域都有其独特的检测标准和要求。人工智能技术必须能够满足这些不同的标准要求，才能在全球范围内推广应用。

因此，如何制定统一的技术标准，推动 AI 食品安全检测设备的标准化和规范化，成为实现其产业化的重要步骤。制定全球统一的标准不仅能够提高 AI 技术在食品安全领域的应用效果，还能够推动国际间的技术交流和合作，提升食品安全检测的整体水平。

3.2 市场推广与商业化应用

人工智能在食品安全检测中的应用前景广阔，具有巨大的市场潜力。AI 技术能够显著提高食品安全检测的效率、准确性和实时性，为食品企业提供更加精准的质量保障和安全监测。然而，AI 在食品安全检测中的商业化应用仍面临着市场接受度和投资风险等问题。

尽管一些大型企业已经开始尝试在食品安全检测中使

用人工智能技术，但对于中小型企业和地方政府的投入相对较少，这限制了 AI 技术在食品安全检测领域的普及和应用。很多中小型企业和地方政府可能缺乏足够的资金和技术储备，难以承担 AI 技术的初期投入。此外，由于人工智能技术的应用仍处于发展阶段，一些企业对其有效性和可行性存在疑虑，导致 AI 技术的推广进程较慢。

为了推动 AI 技术在食品安全检测中的市场推广和商业化应用，必须加大政府和企业的投入，促进技术和市场的双向联动。政府可以通过出台相关政策，支持 AI 技术在食品安全检测中的研发和应用。例如，政府可以为使用 AI 技术的食品企业提供补贴或奖励，鼓励其积极引入新技术，提高食品安全检测水平。同时，政府还可以建立行业规范和标准，推动 AI 食品安全检测设备的统一标准化，降低市场准入门槛，提高技术的普及率。

企业方面，需要加大对 AI 技术的研发投入，提升技术的成熟度和稳定性。尤其是对中小型企业而言，降低成本和提高 AI 技术的普及率是推动其商业化应用的关键。通过技术革新和优化，企业可以降低设备成本，使 AI 技术更加适用于不同规模的企业。

3.3 数据隐私与安全问题

随着人工智能在食品安全检测中的广泛应用，数据隐私和安全问题逐渐成为亟待解决的难题。食品安全检测涉及大量的敏感数据，包括食品的生产、加工、运输等环节的数据。如果这些数据没有得到充分地保护，可能会导致数据泄露、滥用等问题，严重影响消费者的隐私和社会信任。

在食品安全检测过程中，AI 系统通常需要收集和分析大量的原始数据，如生产环节的操作记录、食品成分分析数据、运输环境的监控数据等。这些数据不仅包括产品本身的质量信息，还涉及供应链的敏感信息，如原材料来源、加工工艺、生产厂商等。如果没有有效的数据保护措施，这些敏感数据可能会面临泄露的风险，导致企业的商业机密泄露，甚至对消费者的个人隐私构成威胁。

为了应对这一问题，AI 食品安全检测系统必须加强数据隐私和安全保护。首先，数据加密技术应作为保护数据隐私的基础手段，确保在传输和存储过程中数据的安全。其次，身份认证和访问控制技术应被广泛应用，确保只有授权的人员能够访问敏感数据。企业应定期对系统进行安全审查和漏洞检测，确保数据保护措施得到及时更新和完善。

同时，相关法律法规的制定也显得尤为重要。政府可以出台针对 AI 食品安全检测的隐私保护法规，明确数据保护的标准和要求，规范行业数据的采集、存储和使用。通过加强法律监管，确保数据隐私和安全在技术应用过程中得到充分保障。

总之，人工智能技术在食品安全检测中的应用面临着技术标准化、市场推广、数据隐私和安全等多方面的挑战。解决这些问题需要政府、企业和技术开发者的共同努力，通过政策支持、技术创新、标准制定等手段，推动人工智能技术在食品安全领域的广泛应用，为食品安全提供更加强大的保障。

4 人工智能在食品安全快速检测中的未来发展趋势

未来，人工智能在食品安全快速检测中的发展将趋向智能化、自动化、实时化。随着大数据、物联网、云计算等技术的进一步发展，AI 将能够在食品检测中实现更高效、更精准的实时监控。此外，随着技术的不断优化和标准化进程的推进，AI 食品安全检测设备的价格将逐步降低，市场规模将进一步扩大。

未来的 AI 食品安全检测系统不仅将具备检测食品质量的基本功能，还将具备智能预警、自动化处理和远程监控等高级功能。通过与智能设备和传感器的结合，AI 将实现对食品生产、流通、消费全过程的智能化管理，确保食品安全保障更加全面。

5 结语

人工智能技术在食品安全快速检测中的应用，为提升食品安全检测的效率和准确性提供了新的解决方案。尽管目前人工智能在食品安全检测中的应用仍面临一定的技术、市场和政策挑战，但其发展前景非常广阔。未来，随着技术的进一步成熟、标准化的推进以及市场需求的增加，人工智能将在食品安全检测中发挥更加重要的作用，成为食品安全保障体系中的核心技术之一。

参考文献

[1] 薛建国.食品安全监督抽检工作的开展及实践要点研究[J].现代食品,2024,30(24):165-167.

[2] 覃浩,鲍蕾.食品安全快速检测方法研究进展[J].食品安全质量检测学报,2024,15(24):3-9.

[3] 周洁红,金宇.数字经济视阈下食品安全监管的困境与突破路径[J].食物经济与管理,2024,(05):80-91.

[4] 白军飞,皮芷颖.从包装视角探索中国食品安全可追溯体系建设的市场驱动力[J].食物经济与管理,2024,(05):67-79.

[5] 杨丽萍.食品安全与食品营养的管理策略研究[J].中外食品工业,2024,(24):34-36.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6588

Research on the Mode and Application of Human Computer Collaboration in Manufacturing Production Line Automation Control

Jin Shi

College of Intelligent Manufacturing, Xinjiang Vocational University, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

This article focuses on the mode and application of human-machine collaboration in the automation control of manufacturing production lines. In the context of global competition, due to the difficulties faced by traditional manufacturing models, the rise of human-machine collaborative intelligent manufacturing models has led to good development both domestically and internationally. The article first introduces its theoretical basis, including conceptual connotations and key technologies. Next, analyze the characteristics, applicable scenarios, and advantages of the three modes of master-slave collaboration, and present the results through case studies in the electronic manufacturing industry. At the same time, it is pointed out that human-machine collaboration faces technical, personnel, and management challenges, such as system integration difficulties, personnel skills, and psychological issues, and corresponding strategies are provided. At the end of the article, the guiding significance of the research for manufacturing enterprises is summarized, and the trend of promoting the intelligent, flexible, and green development of the manufacturing industry in terms of technology and application is discussed.

Keywords

human-machine collaboration; Automated control of manufacturing production lines; Collaboration mode;

人机协作在制造产线自动化控制中的模式与应用研究

史今

新疆职业大学智能制造学院，中国 · 新疆 乌鲁木齐 830011

摘　要

本文聚焦人机协作在制造产线自动化控制中的模式与应用。在全球化竞争下，因传统制造模式困境，人机协作智能制造模式兴起，国内外发展良好。文中先介绍其理论基础，包含概念内涵与关键技术。接着剖析主从协作等三种模式特点、适用场景及优势，以电子制造行业案例呈现成效。同时指出人机协作面临技术、人员、管理挑战，如系统集成难题、人员技能与心理问题等，并给出应对策略。文末总结研究对制造企业的指导意义，展望其在技术、应用方面推动制造业智能化、柔性化、绿色化发展的趋势。

关键词

人机协作；制造产线自动化控制；协作模式

1 引言

在全球化竞争中，制造业机遇与挑战并存。科技发展致消费者需求多变，传统制造模式难兼顾高效、高质与高灵活性生产。人机协作智能制造模式应运而生，它通过人机配合，发挥双方优势，提升生产效能、员工体验与职业发展，对制造业转型升级意义重大，也推动学术研究与技术进步。国际上，德、美、日等发达国家成果丰硕。国内近年来发展迅猛，企业、高校和科研院所在协作机器人及关键技术上取得突破，政策支持下，人机协作在制造业广泛应用。本论文运用多种研究方法，在模式构建等方面创新，为制造业发展探新路。

【作者简介】史今（1973–），男，中国河北唐山人，本科，副教授，从事专注于智能控制研究。

2 人机协作的相关理论基础

2.1 人机协作的概念与内涵

人机协作是智能制造的核心，指人类与智能机器在制造中紧密配合，通过空间共享、信息交互、任务协同实现生产目标。它与传统模式差异大。传统模式下，机器按预设运行，人仅监控、启动与简单调整，工作区域隔离，信息单向流通。而人机协作模式里，人与机器同空间紧密互动，信息双向实时交互。例如汽车装配线，工人与机器人并肩作业，机器人依工人指令调整动作。任务分配上，依双方优势动态进行，机器负责重复任务，人处理复杂工作，提升生产效能。

2.2 人机协作的关键技术支撑

机器人技术：人机协作核心。工业机器人凭借高刚性、高精度，如 ABB 的 IRB 系列用于汽车焊接，提升质效、减轻工人负担。协作机器人侧重安全灵活，像 UR 系列在电子装配中依工人指令协作，增强柔性。编程与控制技术从传统示教向离线、自主编程转变，提高生产准备效率。传感器技术：犹如人机协作“感知器官”。视觉传感器用于物流分拣，实现物体识别等；力觉传感器保障打磨质量；触觉传感器提升手术精准度，其数据处理后助力系统智能化。人工智能技术：提升人机协作智能水平。机器学习借分析生产数据优化流程，如 SVM 算法降次品率；深度学习用于复杂场景决策，如智能驾驶舱视觉检测；自然语言处理实现人机自然沟通，提升运维协作效率。通信技术：是人机协作 “神经脉络”。工业以太网以高带宽、低延迟成为主流有线通信方式；无线通信拓展协作边界。工业物联网推动设备互联互通，引领人机协作走向智能化、协同化 [1]。

3 制造产线自动化控制中的人机协作模式

3.1 主从协作模式

主从协作模式是制造产线自动化控制的常见基础模式。人凭借经验主导决策，监控分析生产流程、制定方案；机器依人指令，高精度执行任务，如零部件加工。以汽车焊接生产线为例，焊接工人依图纸等规划焊接流程参数，通过示教器给机器人下达指令。机器人以亚毫米级重复定位精度，按预设路径焊接。工人全程关注，异常时及时调整。该模式适用于精度和工艺复杂要求高的任务，如航空航天零部件制造。它融合人的智慧与机器精准高效，提升生产效率 30% - 50%，降低次品率 20% - 35%，增强企业竞争力。

3.2 协同作业模式

协同作业模式，是人与机器平等协作的进阶模式。人负责工艺调试、故障修复这类需灵活决策的工作，机器承担精密加工、物料搬运等高精度、规律性任务。双方借传感器等实时交互信息，如装配时工人发现零件瑕疵，能通过智能终端告知机器人，由其更换合格零件。

该模式重视动态任务分配，依据实时生产数据（如订单变更），用智能算法调配人力与机器资源。适用于产品更新快、订单多样的行业，像电子产品制造，可实现生产线柔性切换，提升企业市场响应与柔性生产能力。

3.3 监督控制模式

监督控制模式高度智能化，人远程主导监控，机器依预设程序自主运行，遇异常或接指令才调整。借助传感、摄像及数据传输，人能实时掌握机器状态。异常时系统报警，监控人员远程诊断并指令恢复生产。此模式适用于化工、电力等高风险行业。像化工生产线，自动化全流程运行，人员在控制室监控关键参数。正常时设备按序运转，异常时联锁报警。人员远程判断故障、操控处理，确保生产安全稳定，避免重大损失。

4 人机协作在制造产线自动化控制中的典型应用案例分析

4.1 案例背景与目标

电子制造行业产品更迭快、订单多样、工艺精细。某知名企业专注高端电子产品研发生产，在激烈的全球市场竞争中，面临诸多挑战。消费者对电子产品性能、品质及定制化要求渐高，市场需求呈多品种、小批量态势。但企业传统生产线应对产品变更时弊端尽显：生产效率低，设备切换与人工调试复杂，新品上线常延迟，如平板型号切换，参数调整与程序更新需数天，贻误市场时机；产品质量不稳，人工插件、贴片易因疲劳和熟练度问题，致元件错贴、虚焊，次品率高；人力成本因用工荒不断攀升，压缩利润空间。为破局，企业引入人机协作智能制造模式，力求提升生产效率超 40%，将次品率控在千分之三内，降低人力成本 30%，大幅缩短新品导入周期，增强市场竞争力与应变能力，巩固行业领先地位。

4.2 人机协作的具体应用

在表面贴装技术（SMT）生产中，人机协作在各工序有不同应用。

贴片环节采用协同作业模式，高精度高速的 SMT 贴片机按预设程序，以每秒数十次的速度将微小电子元器件精准贴装到电路板，精度达微米级，保障电气连接。工人通过显示屏监控，发现元件吸取异常等问题，迅速停机手动纠正或换吸嘴。面对新产品或小批量订单，工人能快速编程切换程序。插件工序运用主从协作模式，经验丰富的插件工人依电路板设计与工艺，用专业软件为自动插件机设参数。插件机通过多轴联动机械手臂，以每分钟数百次速度将元件准确插入孔位，精度偏差小。工人实时监督，发现问题即刻暂停修复。检测环节采用监督控制模式，AOI 与 AXI 设备按预设算法全方位检测电路板。AOI 用高清摄像头扫描表面，AXI 穿透成像检测内部。检测数据实时传至中控室，操作人员远程监控，警报响起时依经验判断并处理，确保产品质量 [2]。

4.3 实施效果评估

经稳定运行，人机协作系统为企业带来显著成效。生产效率大幅提升，单位时间电路板产量较之前提高 45%。这得益于机器的高速稳定运行，以及人机高效协同减少了停机调试时间，像 SMT 贴片环节，贴片机与工人紧密配合，极大提高了贴片效率。产品质量显著改善，次品率从千分之五降至千分之二点五。机器精准操作搭配人工严格质检，有效降低不良品流出风险，插件工序亦是如此。人力成本降低 32%，通过优化人员配置，减少重复劳动岗位，释放了资金流，企业可将更多资金投入研发创新。新品导入周期从数周缩至一周以内，协同作业模式下工艺切换与调试迅速，企业能快速响应市场新品需求。如新研发电子产品，企业可快速

调整生产线实现量产，为其在电子制造行业持续领先注入强大动力。

5 人机协作面临的挑战与应对策略

5.1 技术挑战

5.1.1 系统集成难度大

在制造产线自动化控制中，人机协作系统高效集成困难多。一是设备接口兼容性问题，产线设备品牌、型号多样，通信协议和接口标准不一，如 ABB 与部分国产机器人差异，易致数据传输及协同控制故障，影响运行。二是数据格式不一致，各设备数据存储形式不同，融合分析时格式转换与预处理繁杂，处理不当干扰智能决策。三是软件系统集成难，MES、ERP 等软件整合到协作平台，需解决架构适配等难题，否则易冲突。

5.1.2 机器人智能化水平有待提高

尽管机器人技术进步明显，但其在复杂制造环境中智能化仍不足。环境感知上，车间光线、物料等干扰，使视觉、力觉传感器难精准捕捉信息，影响物体识别、定位与抓取精度，无法满足高精度任务。决策能力方面，面对突发故障或任务调整，机器人缺乏基于经验的快速应变能力，仅靠预设程序，易致生产停滞或次品增加。自适应能力也欠佳，产品或原材料变化时，难自动调整参数，需人工重编调试，降低效率与柔性，难适应定制化生产。

5.1.3 数据安全与隐私保护问题

人机协作系统广泛应用，数据安全与隐私保护面临考验。一方面，数据泄露风险高，制造数据包含商业机密，一旦遭攻击或内部违规操作，泄露后会给企业带来巨大损失。另一方面，数据存在被篡改风险，传输或存储中若数据被恶意修改，如质量检测数据、工艺参数，会导致产品质量和生产流程失控。企业需采取加密技术、访问控制策略，并定期进行安全审计与漏洞扫描，保障数据安全，为智能制造护航。

5.2 人员挑战

5.2.1 操作人员技能要求提高

人机协作环境下，操作人员技能要求全面提升。传统制造工人只需掌握单一设备基本操作，现在则需具备编程、调试与维护等多种技能。编程方面，要熟悉机器人编程语言，如 RAPID、Karel 等，以便根据生产任务变化调整机器人程序，实现产品切换。调试技能也很关键，多设备协同易出现故障，操作人员需快速排查问题，例如传感器异常时能准确判断故障原因并修复。维护技能不可或缺，定期保养设备能延长其寿命，降低故障概率。同时，操作人员还需具备跨学科知识，包括机械工程、自动化控制、计算机科学等，以更好地优化系统运行。

5.2.2 人机协作中的人员心理因素

人机协作中，人员心理因素影响协作效果。一方面，操作人员对机器信任度很关键。引入新机器人时，部分人因不了解其性能而心存疑虑，不敢充分利用，关键时刻过度依赖人工，降低协作效率。另一方面，存在过度依赖机器的问题。机器在重复任务中的优势使部分操作人员产生懈怠，丧失自主解决问题能力，机器故障时便会手足无措。此外，部分操作人员因担心无法适应新技术而产生焦虑情绪，影响工作专注度和协作积极性。企业需通过培训与沟通应对这些心理挑战，培训可增强操作人员对机器的信任，模拟演练能减少对机器的过度依赖，职业规划辅导可缓解焦虑，营造良好协作氛围。

5.3 管理挑战

5.3.1 生产流程与组织架构变革

人机协作推动传统制造产线生产流程与组织架构变革。生产流程上，传统线性流程难以适应人机协作的灵活性。人机协作需构建柔性生产流程，以项目或订单为导向，实现各环节并行、动态调度。如定制化产品生产中，能根据客户需求迅速调整工艺路线。组织架构方面，传统金字塔式架构决策效率低，不适应人机协作实时决策需求。企业需建立跨部门、扁平化的项目团队，像汽车制造企业在新能源汽车项目中，多领域人员组成团队直接面向任务，自主决策、协同工作，高层管理者则聚焦战略规划，赋予一线团队更多自主权。

5.3.2 人机协作的标准与规范缺失

目前，人机协作缺乏统一完善的标准规范，这限制了其推广。安全标准方面，人机近距离协作，安全距离、碰撞力阈值等关键指标需明确，不同企业安全防护差异大，缺乏系统评估，易引发安全事故。作业流程规范也缺失，人机协作任务分配、信息交互无统一准则，导致企业生产效率和产品质量参差不齐。缺乏标准规范增加企业引入系统的难度和成本，因此，制定全方位的标准规范迫在眉睫 [3]。

6 结论

本研究聚焦人机协作在制造产线自动化控制领域，剖析其模式、应用、挑战与策略。多种协作模式适配不同场景，显著提升生产质效，然推进中面临技术、人员、管理等难题。针对这些，提出相应策略，对制造企业提升智能制造水平与竞争力意义重大。未来，人机协作将呈现新趋势，技术上人工智能与物联网深度融合，应用上向新兴领域拓展，推动制造业智能化、柔性化与绿色化发展。

参考文献

[1] 刘泽双,韩金,王一帆.智能制造人机协作运行功能标准模型研究[J].科技进步与对策,2022,39(20):21-31.

[2] 李吉轩,吴洪明.人机协作装配场景下的人机任务规划[J].起重运输机械,2022(08):59-66.

[3] 朱德志.基于力交互的机器人人机协作控制研究[D].东南大学,2022.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6589

Research on the Application of Lightweight LLMS in Real-time Military Decision-Making

Xiaolong Wang Qinfu Li Xiuquan Yu* Jun Cai

Chinese Academy of Electronic Sciences, Beijing, 100041, China

Abstract

In today's era of rapid development of information technology, the military field has higher requirements for the precision and efficiency of real-time decision-making. With its unique advantages, lightweight large models have demonstrated great application potential in real-time military decision-making. This article delves deeply into the core technologies and advantages of lightweight large models, as well as their application scenarios in real-time military decision-making, such as intelligence analysis and situation awareness, generation and evaluation of combat plans, command and control, and coordinated operations. It also analyzes the challenges faced during the application process, including issues related to data quality and security, model performance and reliability, and adaptation to military applications. Corresponding countermeasures are proposed with the aim of providing theoretical support and practical references for promoting the intelligent development of military decision-making.

Keywords

Lightweight Large Model; Real time military decision-making; Model compression; Model optimization; multimodal

轻量化大模型在实时军事决策中的应用研究

王晓龙 李钦富 于修全* 蔡俊

中国电子科学研究院，中国 · 北京 100041

摘 要

在信息技术迅猛发展的今天，军事领域对实时决策的精确性和效率性要求更高。凭借独特的优势，轻量化大模型在实时军事决策中显示出了巨大的应用潜力。本文深入探讨了轻量化大模型的核心技术、优势，及其在实时军事决策中情报分析与态势感知、作战方案生成与评估、指挥控制与协同作战等应用场景，分析了应用过程中面临的数据质量与安全问题、模型性能与可靠性问题、军事应用适配问题等挑战，并提出了相应的应对策略，旨在为推动军事决策智能化发展提供理论支持和实践参考。

关键词

轻量化大模型；实时军事决策；模型压缩；模型优化；多模态

1 引言

在现代战争中，战场信息呈现多源异构、高动态等特点。军事决策者需要在极短的时间内对这些信息进行分析、判断并做出科学合理的决策，以掌握战争主动权。传统的军事决策方法在面对如此复杂和快速变化的信息时，往往难以满足实时性和准确性的要求。

大模型技术的出现为军事决策带来了新的思路[1][3]，但由于军事应用场景的特殊性，对模型的部署和运行效率有严格限制[2][6]，轻量化大模型应运而生。轻量化大模型在保持强大语言理解和生成能力的同时，通过优化模型结构、参数压缩等技术手段，降低了模型的计算量和存储需求，使其能够在资源有限的军事装备上高效运行，为实时军事决策提供有力支持。

【作者简介】王晓龙（1989–），男，中国天津人，硕士，助理工程师，从事智能决策系统设计、分布式计算、大模型技术应用等研究。

【通讯作者】于修全（1978–），男，中国黑龙江青冈人，本科，高级工程师，从事云计算、大数据、人工智能等研究。

2 轻量化大模型概述

2.1 轻量化大模型核心技术

2.1.1 模型压缩与优化

参数剪枝：通过移除冗余参数、对性能影响较小的连接或神经元，减少模型体积（参数数量）、提升推理速度，适用于战场终端设备的部署[4]。

模型优化：采用更简洁、高效的神经网络架构，如 MobileNet、ShuffleNet 等轻量级卷积神经网络结构，减少卷积层的参数数量、优化卷积核的大小和连接方式等，在降低模型复杂度的同时，保证一定的精度。

量化技术：采用 LLM.int8() 混合精度量化方法，将模型参数从 32 位浮点压缩至 8 位整数，降低内存占用、加速计算；同时，通过 SmoothQuant 方法降低异常值对精度的影响。

知识蒸馏：以教师模型为指导，训练学生模型，将教师模型的知识迁移至学生模型，保留关键推理能力，将多模态大模型(MLLMs)压缩为可部署于无人机的轻量版本。[3][6]

2.1.2 多模态信息处理优化

视觉 Token 压缩：通过多尺度信息融合或动态 Token 选择，减少图像与视频数据的计算负载。

高效架构设计：采用 Mamba 结构替代传统 Transformer，利用状态空间模型（SSM）高效处理长序列数据。

2.2 轻量化大模型优势

低资源消耗：轻量化大模型所需的计算资源和存储资源大幅减少，能够在便携式军事设备、无人机、车载终端等资源受限的硬件平台上运行，以满足机动、灵活等军事应用的要求。[4]

快速推理：由于模型复杂度降低，推理过程中的计算量减少，使得模型能够快速对输入数据进行处理和分析，输出决策建议，满足实时军事决策对时间的严格要求。[5]

适应性强：可以根据不同的军事应用场景和硬件条件，灵活调整模型的轻量化程度，在保证决策准确性的基础上，实现最优的资源利用和性能表现。

3 轻量化大模型在实时军事决策中的应用场景

3.1 情报分析与态势感知

多源情报融合分析：轻量化大模型可以对卫星侦察、无人机侦察、地面传感器、开源情报等多源异构情报进行快速融合和分析，提取关键信息。通过对情报的深度理解和关联分析，为军事决策者提供全面、准确的战场态势图[6]。

异常行为检测：轻量化大模型可以对海量的战场数据进行实时监测，识别出异常的军事活动模式，支持及时发现异常行为，为军事决策者提前预警、采取相应应对措施提供支持。

3.2 作战方案生成与评估

作战方案快速生成：轻量化大模型通过学习大量的历史战例和军事理论知识，结合当前战场态势和作战目标，运用智能算法生成包含兵力运用、火力分配、基本战法等关键要素的作战方案，为军事决策者提供丰富的决策选项[6]。

作战方案评估与优化：轻量化大模型从多个维度对生成的作战方案进行作战效能、风险程度、资源消耗等方面评估，支持通过自然语言指令快速构建虚拟战场、模拟战场态势、分析其优劣势，为军事决策者提供动态决策依据。

3.3 指挥控制与协同作战

实时指挥决策辅助：轻量化大模型可以作为作战过程中的实时指挥决策辅助工具[7]，为军事指挥官提供实时的战场信息分析、决策建议和风险提示。

多军兵种协同作战：轻量化大模型支持构建统一的作战信息交互平台，实现各军兵种之间的信息快速传递和理解，优化协同作战流程；同时，支持对各军兵种作战任务和行动的智能规划与协调，提高多军兵种协同作战的效率和效果。

4 面临挑战与对策

4.1 数据质量与安全问题

4.1.1 面临挑战

数据质量：战场数据获取受到战场环境、传感器性能等因素影响，数据可能存在噪声、缺失、错误等问题；低质量的数据会影响轻量化大模型训练效果和决策准确性，如何进行有效的预处理和质量控制是一个关键问题。

数据安全：在数据使用全流程中，确保作战计划、军事装备参数等敏感数据的安全性和保密性至关重要。防止数据泄露、篡改和恶意攻击，是轻量化大模型在军事应用中面临的重要安全挑战。[2][6]

4.1.2 应对策略

提升数据质量：围绕数据清洗、去噪、填补缺失值等方面，建立机制手段和预处理流程，提升军事数据质量；利用数据增强技术对图像数据进行旋转、缩放、裁剪等操作，扩充数据量、增强模型泛化能力。

确保数据安全：采用加密技术进行军事数据存储和传输，确保数据保密；建立形成数据访问权限管理机制；部署网络安全防护，部署防火墙、入侵检测系统等安全设备，防止数据遭受外部攻击。

4.2 模型性能与可靠性问题

4.2.1 面临挑战

模型性能：在轻量化过程中，如何在降低模型复杂度的同时，保证模型的准确性和泛化能力，实现模型性能与资源消耗的最佳平衡，是一个技术难题。过度轻量化可能导致模型性能大幅下降，无法满足军事决策的精度要求，复杂度较高又会影响受限资源设备的运行效率。[6]

可靠性验证：军事决策对模型的可靠性要求极高，任何决策失误都可能导致严重后果。然而，目前对于轻量化大模型的可靠性验证方法还不够完善，如何建立科学有效的模型可靠性评估体系，确保模型在复杂多变的战场环境下能够稳定、可靠地运行，是应用过程中需要解决的重要问题。

4.2.2 应对策略

优化模型性能：结合参数压缩、知识蒸馏等多种轻量化技术，实现模型性能与资源消耗的平衡；采用自适应学习率调整、正则化等训练技巧，提高模型训练效果和泛化能力；优化模型推理算法，提高推理效率。

验证可靠性：建立包括模型准确性、稳定性、鲁棒性等多维度的模型可靠性评估指标体系。采用模拟仿真等方式对模型进行验证和测试，通过大量的实验数据评估模型在不同场景下的可靠性。

4.3 军事应用适配问题

4.3.1 面临挑战

军事场景复杂性：战场环境具有高度的复杂性和不确

定性，与模型训练时所使用的模拟场景存在较大差异。如何使轻量化大模型更好地适应真实的军事场景，准确理解和处理各种复杂的战场信息，是应用过程中面临的一大挑战。[9]

军事人员接受度：轻量化大模型应用于军事决策，部分军事人员对新技术存在疑虑或不熟悉，如何提高军事人员对轻量化大模型的接受度和使用能力也是一个关键问题。

4.3.2 应对策略

适配军事应用：加载真实战场数据，对轻量化大模型进行针对性训练和优化，使其更好地适应军事场景的复杂性和不确定性。利用强化学习技术让模型不断学习和进化，提高其应对复杂情况的能力。

培训人员：开展军事人员的轻量化大模型技术培训课程，了解基本原理、功能和使用方法。通过案例分析、模拟操作等方式，提高军事人员运用模型进行辅助决策的能力。

5 典型案例 [8]

5.1 边端部署的指挥决策系统

应用场景：在通信受限或网络不稳定的战场环境中，轻量化大模型支持离线部署，帮助指挥官实时分析情报并生成行动方案。

案例：唐山海事局本地化部署 DeepSeek-R1 大模型，在无网络条件下实现海事应急决策支持，军事领域可嵌入前线指挥车或单兵设备中，类比应用生成作战路线规划建议等。

5.2 智能后勤与供应链优化

应用场景：实时优化物资配送路线，预测装备故障，确保前线资源的高效调度。

案例：美国陆军采用 Scale Donovan 大语言模型进行后勤管理，通过轻量化部署在加密网络中，快速分析部队移动数据并生成补给方案。

5.3 战场医疗分诊与健康监测

应用场景：在野战医疗场景中，轻量化模型可辅助快速诊断伤员病情并推荐治疗方案。

案例：美国空军研究实验室主导开发轻量化医疗分诊模型，并在智能眼镜、手表等穿戴设备搭载轻量化模型监测士兵健康状态，通过分析战场实时数据，提供优先级分诊建议，缩短救治时间。

6 未来展望

轻量化大模型在实时军事决策中的应用未来可聚焦以下发展方向。

6.1 技术优化方面 [4]

联合优化技术深入发展：采用联合优化技术，综合考虑模型精度、计算复杂度、内存占用、推理速度等因素，基于加权求和、Pareto 前沿、强化学习等方法，让轻量化大模型在资源受限的军事设备上能更加高效地运行。

与边缘计算等融合深化：与边缘计算、雾计算等技术进行深度融合，将轻量化大模型部署靠近数据源的边缘节点，减少数据传输延迟、实现快速实时决策。

6.2 应用拓展方面 [4]

多域作战融合：轻量化大模型将更广泛地应用于跨域态势感知、多域任务规划与协同等，实现各作战域之间的高效信息共享和协同决策。

无人作战系统集群化：轻量化大模型将支持大规模无人集群的自主协同作战，实现无人车、机、艇等在复杂战场环境下自主编队与任务分配、避障与目标打击等。

6.3 性能提升方面 [6]

可解释性增强：发展可解释性技术，使轻量化大模型的决策过程和依据更加透明，便于军事人员理解和信任模型的输出结果，将模型决策与人类决策更好地进行结合。

实时自适应能力提升：具备更强的实时自适应能力，根据战场动态变化、任务调整以及敌方策略改变等，支持实时自动调整模型参数和决策策略，确保决策性能最佳。

7 结论

轻量化大模型通过技术创新与场景适配，在实时军事决策中具有广阔的应用前景，能够有效提升军事决策的准确性和时效性，为现代战争的胜利提供有力支持。

尽管在应用过程中面临数据质量与安全、模型性能与可靠性、军事应用适配等诸多挑战，但通过采取相应的解决策略，可以逐步克服这些困难，推动轻量化大模型在军事领域的广泛应用和深入发展。

未来，随着轻量大模型的技术优化、应用拓展和性能提升，轻量化大模型在军事决策中的应用将更加成熟和完善，也必将促进军事智能化发展。

参考文献

[1] 康强,罗晓泽,马进兆. 优化建模在军事航海实时模拟训练系统中的应用研究[C]//第四届全国虚拟现实与可视化学术会议论文集.大连:大连海事大学出版社, 2004:34-38.

[2] 姚雨,宋春林,邵江琦. 无人机航拍军事车辆实时检测及定位算法[J]. 兵工学报,2024,45(z1):354-360.

[3] 齐大伟,贺筱媛,胡晓峰,等. 军事通信路径规划动态模型研究[J]. 指挥与控制学报,2015,1(2):203-207.

[4] 蔡磊,孟宪波,韩冬梅,等. 大模型在军事垂直领域的应用[J]. 舰船科学技术,2024,46(5):171-175.

[5] 高志强,沈佳楠,姬纬通,等. 大模型技术的军事应用综述[J]. 南京航空航天大学学报,2024,56(5):801-814.

[6] 阳东升,卢经纬,李强,等. 超大预训练模型在指挥控制领域的应用与挑战[J]. 指挥与控制学报,2023,9(2):146-155.

[7] 姚奕,陈朝阳,杜晓明,等. 多模态知识图谱构建技术及其在军事领域的应用综述[J]. 计算机工程与应用,2024,60(22):18-37.

[8] 董华辉,马晓. ChatGPT在军事领域的潜在应用分析[J]. 舰船电子工程,2024,44(5):14-17,54. [9]廖伟,王翔宇,李宏伟. 人工智能在军事领域的应用综述[J]. 智能安全,2024,3(1):106-112.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6590

Mining and bioinformatics analysis of Cinnamyl CoA Reductase gene in Emei strawberry

Fawang Liu[1,2] Aihua Wang[1] Yin Zhang[1] Xinru Lv[1]

1. School of Biological and Food Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui, 234000, China
2. Engineering Research Center for Development and High Value Utilization of Genuine Medicinal Materials in North Anhui Province, Suzhou, Anhui, 234000, China

Abstract

To investigate the genes responsible for lignin biosynthesis in Emei strawberry stems, we searched the transcriptome database of Emei strawberry for the rate-limiting enzyme gene (cinnamoyl CoA reductase) in the lignin biosynthesis pathway. We utilized bioinformatics software DNAMAN, as well as online programs such as MEME and SOPMA, to predict the biological characteristics of cinnamoyl CoA reductase. Our findings revealed the presence of three cinnamoyl CoA reductase genes with complete open reading frames in Emei strawberries, sharing a sequence similarity of 76.82%. These genes were found to possess substrate binding and catalytic sites, and showed higher similarity with dihydroflavonol reductase and cinnamyl alcohol dehydrogenase in protein tertiary structure, suggesting their potential for catalytic activity and involvement in the lignification process of Emei strawberry stems.

Keywords

Emei strawberry; cinnamoyl CoA reductase; lignification

峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因的挖掘和生物信息学分析

刘发旺[1,2] 王爱华[1] 张银[1] 吕欣茹[1]

1. 宿州学院生物与食品工程学院，中国 · 安徽 宿州 234000
2. 安徽省皖北道地药材开发与高值化利用工程研究中心，中国 · 安徽 宿州 234000

摘　要

为探究参与峨眉草莓茎秆木质化的基因，从峨眉草莓转录组数据库中挖掘木质素生物合成途径上的限速酶基因肉桂酰辅酶A还原酶基因，采用生物信息学软件DNAMAN，以及MEME、SOPMA等在线程序预测肉桂酰辅酶A还原酶生物学特性。结果表明从峨眉草莓中挖掘到3个具有完整开放阅读框的肉桂酰辅酶A还原酶基因，其序列相似度为76.82%，且都具有底物结合和催化位点，蛋白三级结构预测显示与二氢黄酮醇还原酶和肉桂醇脱氢酶空间结构相似，推测其具有催化活性，可能参与峨眉草莓茎秆木质化的形成。

关键词

峨眉草莓；肉桂酰辅酶A还原酶；木质化

【基金项目】宿州市科技计划重大专项（项目编号：SZKJXM202423）；宿州学院非财政资金科研项目（项目编号：2024xhx196）；安徽省教育厅自然科学研究项目（项目编号：2024AH051806）；宿州学院博士科研启动基金项目（项目编号：2022BSK033）；宿州学院大学生创新创业训练计划项目（项目编号：ZCXM24-167、ZCXM24-201）；宿州学院教学研究和质量工程项目（项目编号：szxy2024jyxm25、szxy2024zybj01）。

【作者简介】刘发旺（1990-），男，中国安徽宿州人，博士，讲师，从事基因功能研究。

1 引言

草莓是我国的一种主要水果，我国草莓产量占据全球草莓产量的 32.02%。安徽是草莓的种植大省，其中红颜草莓、峨眉草莓、奶油草莓等深受消费者的喜爱，具有重要的研究价值 [1]。

肉桂酰辅酶 A 还原酶基因是植物中普遍存在的基因家族，其参与植物木质素的合成 [2,3]。木质素在保持植物茎秆的硬度、增强植物抗倒伏性能上具有重要的作用，在提升植物的生物质能方面也具有广泛的研究价值，例如黑麦草作为动物饲料的重要来源，提升黑麦草木质素含量可增加黑麦草的产量，有力促进畜牧业发展 [4]。肉桂酰辅酶 A 还原酶基因在植物代谢通路上处于苯丙烷类生物合成通路，该通路上参与木质素生物合成的酶除了肉桂酰辅酶 A 还原酶之外，

还有肉桂醇脱氢酶、儿茶酚氧甲基转移酶、苯丙氨酸解氨酶等，它们共同参与调控木质素的合成。在木质素合成的路径中，肉桂酰辅酶 A 还原酶所处的位置在碳代谢流的分支点，该位置对于调节碳代谢流向木质素或者黄酮等成分至关重要，因此，肉桂酰辅酶 A 还原酶是调控木质素合成的限速酶。基于肉桂酰辅酶 A 还原酶在植物碳代谢流调控中的重要性，越来越多的研究者对其开展基因克隆和功能研究，进一步发现其新功能及转录调控机制。

草莓的茎秆中木质素的含量对于草莓的生长、水分运输、草莓产量至关重要，直接影响草莓的品质。本文借助高通量转录组测序技术和生物信息学分析，首次对草莓新品种峨眉草莓中参与木质素生成的基因肉桂酰辅酶 A 还原酶基因进行挖掘和生物信息学分析，在此基础上，对草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因的理化性质和生物学功能做了初步预测。研究结果为进一步的肉桂酰辅酶 A 还原酶基因克隆、功能研究，以及通过分子育种技术培育高木质素草莓新品种提供重要基础数据。

2 实验材料

峨眉草莓种植于安徽省皖北道地药材开发与高值化利用工程研究中心实验室温室，生长温度为 24℃，相对湿度 55%，光照 / 黑暗（16h/8h）。新鲜峨眉草莓在液氮中速冻，随后进行转录组测序。峨眉草莓转录组数据保存于本实验室。

3 方法

3.1 基因功能注释与挖掘

使用 NR（https://ftp.ncbi.nlm.nih.gov/blast/db/FASTA/nr）和 KEGG（https://www.genome.jp/kegg/）数据库对峨眉草莓转录组数据进行功能注释。使用 FPKM（Fragments Per Kilobase Million，Fragments Per Kilobase of exon model per Million mapped fragments）计算基因表达量。其中基因表达量大于 100 且注释为肉桂酰辅酶 A 还原酶（cinnamoyl-CoA reductase）的基因用于生物信息学分析。

3.2 生物信息学分析

使用 NCBI 的 ORF 工具将峨眉草莓的肉桂酰辅酶 A 还原酶基因序列转换为氨基酸序列，然后使用 DNAMAN 软件比对氨基酸的相似度。使用 MEME 在线工具分析肉桂酰辅酶 A 还原酶的保守序列，设置 Motif 个数为 3 个。SOPMA 在线工具分析肉桂酰辅酶 A 还原酶的分子式、分子量、亲水性、疏水性、理论等电点，以及二级结构和蛋白的三级空间结构等，通过比较与之相似的蛋白结构，预测峨眉草莓中肉桂酰辅酶 A 还原酶的生物活性。

4 结果与讨论

4.1 峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因挖掘

峨眉草莓转录组数据库中的基因经 NR 和 KEGG 数据库注释，共有超过 2 万个基因获得注释，对这些注释的基因进行筛选，其中有 5 个基因注释为肉桂酰辅酶 A 还原酶基因，3 个具有完整的编码区，其基因名分别为 *LOC101295856*、*LOC101290955* 和 *LOC105352966*。进一步将这三个基因提交至美国国家生物技术信息中心的 NCBI 数据库进行检索确证，结果显示其功能注释都为 cinnamoyl-CoA reductase，表明成功挖掘到了 3 个峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因，命名为 *FaCCR1*、*FaCCR2* 和 *FaCCR3*。

4.2 峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶氨基酸序列分析

使用 DNAMAN 软件对 3 个峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶氨基酸序列比对，其序列相似度 69.46%，3 个肉桂酰辅酶 A 还原酶序列中都含有底物结和位点，推测可能具有酶催化活性（图 1A）。使用 MEME 对峨眉肉桂酰辅酶 A 还原酶的保守域分析，共获得 3 个保守域，分别是保守域 1（GACCCHSARGCAGAAKT AHTKGAMCCWGCTKTG ARGGGWACDCTTAATGT）、保守域 2（GTGTGYG TR ACAGGAGCWKSWGGRTTYRYWGCHTCMTGGSTSGTC AAGCT）和、保守域 3（GTKGATGTTMGWGATKTWGC YRAWGCACWBMTTCTWGCMTWTRA GAAMSC）（图 1B）。肉桂酰辅酶 A 还原酶一级结构分析显示，FaCCR1 的分子式为 $C_{1610}H_{2550}N_{422}O_{477}S_{12}$，分子量为 35835.22Da，氨基酸数 326，理论等电点为 6.26，脂肪族指数 92.64，疏水指数为 -0.098，表明为亲水性蛋白；FaCCR2 的分子式为 $C_{1608}H_{2539}N_{415}O_{496}S_{13}$，分子量为 36038.11Da，氨基酸数 326，理论等电点为 5.47，脂肪族指数 87.85，疏水指数为 -0.206，表明为亲水性蛋白；FaCCR3 的分子式为 $C_{1598}H_{2527}N_{409}O_{479}S_{13}$，分子量为 35549.88Da，氨基酸数 323，理论等电点为 5.28，脂肪族指数 96.22，疏水指数为 0.021，表明为疏水性蛋白。肉桂酰辅酶 A 还原酶二级结构分析显示，3 个肉桂酰辅酶 A 还原酶都以 α - 螺旋和无规则卷曲为主，FaCCR1 中两种二级结构占比分别是 39.57% 和 44.79%，FaCCR2 中其占比都是 42.64%，FaCCR3 中其占比分别是 39.01% 和 45.20%（图 1C）。蛋白三级结构显示，FaCCR1 与蔷薇科玫瑰的肉桂酰辅酶 A 还原酶（蛋白序列号 A0A2P6S7Y0.1.A）空间结构最相似，相似度达 84.57%，FaCCR2 与蔷薇科杏的二氢黄酮醇还原酶（蛋白序列号 A0A6J5X640.1.A）空间结构最相似，相似度达 73.13%，FaCCR3 与蔷薇科玫瑰的肉桂醇脱氢酶（蛋白序列号 A0A2P6S7Y2.1.A）空间结构最相似，相似度达 83.28%。蛋白空间结构预测表明峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶表现出还原活性，参与黄酮、肉桂醛等苯丙烷类的还原，而这些苯丙烷类是木质素的前体物质。3 个峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶的生物信息学分析初步表明挖掘到的这 2 个基因可能参与峨眉草莓木质素的合成（图 1D）。

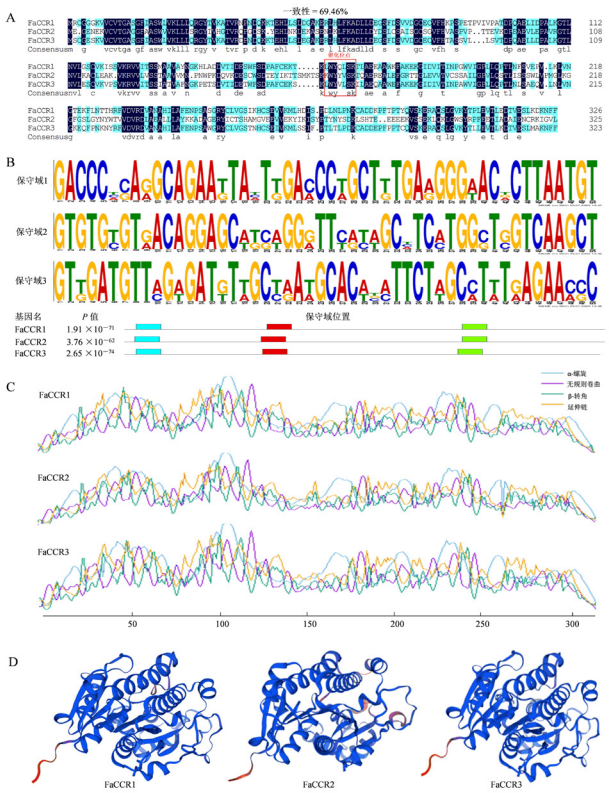


图 1 峨眉草莓的肉桂酰辅酶 A 还原酶的生物信息学分析

（A）肉桂酰辅酶 A 还原酶氨基酸序列比对；（B）肉桂酰辅酶 A 还原酶保守结构域分析；（C）肉桂酰辅酶 A 还原酶二级结构分析；（D）肉桂酰辅酶 A 还原酶蛋白三级结构分析。

4.3 峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因序列分析与功能预测

峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因 *FaCCR1*、*FaCCR2* 和 *FaCCR3* 都具有完整的开放阅读框，基因长度分析显示 *FaCCR1* 基因长度 982bp、*FaCCR2* 基因长度 982bp、*FaCCR3* 基因长度 972bp。峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因长度在 1000bp 附近，符合植物肉桂酰辅酶 A 还原酶基因长度特征，例如辣椒肉桂酰辅酶 A 还原酶基因（基因序列号 NM_001324825.1）长度为 1005bp，番茄肉桂酰辅酶 A 还原酶基因（基因序列号 NM_001247368.1）长度为 999bp，高粱肉桂酰辅酶 A 还原酶基因（基因序列号 OM751894.1）长度为 909bp。因此，从基因序列长度来看，本文挖掘到的 3 个肉桂酰辅酶 A 还原酶基因可能具有该酶的生物活性。

对峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因编码的氨基酸序列分析显示，它们都具有酶的底物结和位点和催化位点“NWYCYGK”，研究表明该位点是判断是否是肉桂酰辅酶 A 还原酶的特征指标。本研究中 FaCCR1 该位点突变为“LWYQLSK”、FaCCR2 该位点突变为“KWYYVSK”、FaCCR3 该位点突变为“LWYVLSK”，这可能与植物的进化和植物适应环境导致的基因突变有关。峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶的分子量都在 30000Da（30kDa）以上，这与其他研究报道的一致，例如苎麻的肉桂酰辅酶 A 还原酶分子量 30.67kDa。综合基因序列、氨基酸序列以及其他生物信息学分析初步表明峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶基因 *FaCCR1*、*FaCCR2* 和 *FaCCR3* 可能具有生物活性。

作为植物中的一类家族基因，肉桂酰辅酶 A 还原酶基因数量较多且功能多样，例如水稻中有 33 个肉桂酰辅酶 A 还原酶基因，白杨中有 8 个肉桂酰辅酶 A 还原酶基因。肉桂酰辅酶 A 还原酶基因不仅参与木质素的合成，还参与植物应激响应，例如在模式植物拟南芥中 AtCCR1 参与木质素的合成，而 AtCCR2 则参与植物对外界环境胁迫如干旱、病虫害的响应 [5]。本文我们挖掘到了峨眉草莓 *FaCCR1*、*FaCCR2* 和 *FaCCR3* 基因，经生物信息分析预测了其特性，未来可对其进行基因克隆，并进行体外蛋白的诱导表达和酶的催化活性验证，或者通过转基因过表达、RNAi 干扰、CRISPR-Cas9 基因敲除来探究其在峨眉草莓生长发育或者木质素合成中的功能。

5 结语

本文对峨眉草莓肉桂酰辅酶 A 还原酶进行了系统的挖掘，获得了 3 个完整的肉桂酰辅酶 A 还原酶基因 *FaCCR1*、*FaCCR2* 和 *FaCCR3*，采用多种生物信息学工具预测了其理化性质。研究结果表明 3 个肉桂酰辅酶 A 还原酶二级结构都以 α - 螺旋和无规则卷曲为主，FaCCR1 和 FaCCR2 为亲水性蛋白，FaCCR3 疏水性蛋白。三级结构表明 3 个肉桂酰辅酶 A 还原酶具有还原性，可能参与肉桂醇、肉桂醛等木质素前体物质的合成，进而调控峨眉草莓木质素的生成。研究结果为峨眉草莓的种质改良提供了基因数据，指导峨眉草莓的育种。

参考文献

[1] 李薇,王哲,刘妍,等.我国草莓产业发展新形势、存在的问题及建议[J].中国南方果树,2025,54(2):240-248.

[2] 王建国.植物肉桂酰辅酶A还原酶的研究进展[J].辽宁林业科技,2023(2):43-46.

[3] 杨硕知.木质素生物合成途径中关键酶肉桂酰辅酶A还原酶研究进展综述[J].安徽农学通报,2010,16(12):44-45.

[4] 张昊,陈亚娟,姜廷波,等.木质素生物合成翻译后修饰调控研究进展[J].生物技术进展,2024,14(4):519-528.

[5] 刘晓晶,崔浪军,夏飞,等.拟南芥肉桂酰辅酶A还原酶(AtCCR1/2)基因的生物信息学分析[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2011,39(03):67-72.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6591

Application and research of functional nutrition of Erythranthus in pet food

Kang Liu　Yingting Bai

1. College of Food and Nutrition, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui, 230000, China
2.San Francisco Art Institute, San Francisco, 941052, USA

Abstract

With the booming development of the pet industry, the nutritional quality of pet food has become a focus of attention. As a national new food raw material, leaf grass has natural composite functional nutritional characteristics such as high protein, amino acids, vitamins, trace elements, beneficial minerals, and bioactive ingredients, and has shown broad application prospects in the field of pet food. Especially in the current context of global resource scarcity and increasing environmental awareness, the orientation of leafy grass towards high-yield, high protein, high nutrition, high empowerment, and high-value raw materials is particularly prominent, which conforms to the trend of green high standards in the pet food industry and helps promote the sustainable development of the pet food industry. This article deeply analyzes the functional nutritional components of leafy grass, explores the advantages, current status, and challenges of its application in pet food, and looks forward to future development trends, aiming to provide theoretical support for innovative research and industrial development of pet food.

Keywords

leaf-eating grass; pet food; functional nutrition; application and research

食叶草功能性营养在宠物粮领域的应用与研究

刘抗　柏英庭

1. 安徽农业大学食品与营养学院，中国 · 安徽 合肥 230000
2. 美国旧金山艺术大学，美国 旧金山 941052

摘　要

随着宠物行业的蓬勃发展，宠物粮的营养品质成为关注焦点。食叶草作为国家新食品原料，具有高蛋白、氨基酸、维生素、微量元素、有益矿物质及生物活性成分等天然复合功能性营养特点，在宠物粮的领域中展现出广阔应用前景。特别是在当前全球资源紧张和环保意识增强的背景下，食叶草以高产量、高蛋白、高营养、高赋能、高产值原料取向尤为突出，符合宠物食品行业绿色高标准趋势，有助于推动宠物食品产业可持续发展。本文深入分析食叶草功能性营养成分，探讨在宠物粮中的应用优势、现状及面临的挑战，并对未来发展趋势进行展望，旨在为宠物粮的创新研发和产业发展提供理论支持。

关键词

食叶草；宠物粮；功能性营养；应用与研究

1 引言

近年来，全球宠物饲养数量持续增长，人们在宠物身上的消费不断提高，对宠物粮的品质和营养要求也日益严苛。传统宠物粮主要依赖动物蛋白和常见植物原料，在营养均衡性和可持续性存在一定局限。食叶草是一种创新植物资源，以其独特的功能性营养特性，为宠物粮的优化升级提供了新的思路和选择。研究食叶草在宠物粮领域的应用，对于提升宠物粮的营养价值、满足宠物多样化的营养需求以及推动宠物食品行业的绿色发展具有重要意义 [1]。

【作者简介】刘抗（1991–），男，中国安徽淮北人，博士，副教授，从事新植物蛋白资源的挖掘及应用研究。

2 食叶草的功能性营养成分

2.1 蛋白质与氨基酸

食叶草蛋白质含量高达 36% ~ 48.7%，远超许多常见植物蛋白原料。其氨基酸组成丰富，包含 18 种氨基酸，其中 8 种为宠物必需氨基酸，如赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸等。这些必需氨基酸在宠物的生长发育、组织修复、酶和激素合成等生理过程中起着不可替代的作用。例如，赖氨酸对于宠物骨骼生长和肌肉发育至关重要，缺乏赖氨酸会导致宠物生长迟缓、免疫力下降；蛋氨酸参与宠物的脂肪代谢和抗氧化过程，对宠物的皮毛健康有积极影响。食叶草中丰富且优质的蛋白质和氨基酸，能够为宠物提供充足的氮源，满足其对蛋白质的需求，有助于提高宠物粮的营养价值 [2]。

2.2 维生素

食叶草富含多种维生素，包括维生素 C、维生素 A 原（β - 胡萝卜素）、维生素 E、B 族等。维生素 C 含量高达 608mg/100g，具有强大的抗氧化作用，可增强宠物免疫力，促进胶原蛋白合成，预防坏血病等疾病。维生素 A 原在宠物体内可转化为维生素 A，对宠物的视力发育和维护、上皮组织健康具有重要作用，可预防夜盲症和皮肤干燥等问题。维生素 E 是一种重要的抗氧化剂，能保护宠物细胞免受自由基损伤，延缓衰老，维持生殖系统正常功能。维生素 B 族参与宠物体内的能量代谢、神经系统发育和维持等多种生理活动，如维生素 B1 可促进宠物胃肠道蠕动，帮助消化；维生素 B2 对宠物的皮肤和黏膜健康至关重要。食叶草中的多种维生素协同作用，能够满足宠物在不同生长阶段对维生素的需求，促进宠物健康成长。

2.3 矿物质

食叶草含有钾、钙、镁、铁、锌、硒等多种有益矿物质元素。钾元素在调节宠物心脏功能、维持体内渗透压平衡和酸碱平衡方面发挥着重要作用；钙和磷是宠物骨骼和牙齿发育的关键成分，合理的钙磷比例有助于宠物骨骼健康，预防佝偻病、骨质疏松等疾病；铁元素参与血红蛋白的合成，对预防宠物贫血至关重要；锌元素影响宠物的生长发育、免疫功能和皮肤健康，缺乏锌会导致宠物生长迟缓、皮肤炎症、脱毛等问题；硒是一种强抗氧化剂，与维生素 E 协同作用，保护宠物细胞膜免受氧化损伤，提高免疫力，还对宠物的生殖功能有积极影响。食叶草中的有益矿物质元素含量丰富且比例合理，能够为宠物提供全面的矿物质营养，满足其生理需求 [3]。

2.4 生物活性成分

食叶草中含有多种生物活性成分，如超氧化物歧化酶 SOD、绿原酸、异黄酮、膳食纤维等。SOD 具有强大的抗氧化能力，能够清除宠物体内过多的自由基，减轻氧化应激对机体的损伤，延缓衰老，预防多种慢性疾病；绿原酸具有抗菌、抗病毒、抗炎、抗氧化等多种生物活性，有助于增强宠物的抵抗力，预防感染性疾病；异黄酮具有类似雌激素的作用，对宠物的生殖系统健康和内分泌调节有一定帮助，还能改善宠物皮肤和毛发质量；膳食纤维、水苏糖可促进宠物肠道蠕动，增加粪便体积，预防便秘，维持肠道微生态平衡，有助于提高宠物的消化吸收功能和整体健康水平。这些生物活性成分赋予了食叶草独特的保健功能，使其在宠物粮中具有重要的应用价值。

3 食叶草在宠物粮中应用的优势

3.1 营养均衡全面

食叶草丰富的蛋白质、氨基酸、维生素、微量元素、有益矿物质和生物活性成分，能够为宠物提供全面均衡的营养，可弥补传统宠物粮营养单一的不足，满足宠物在不同生长阶段的多样化营养需求。例如，对于幼犬和幼猫，食叶草中的优质蛋白、维生素和矿物质有助于骨骼发育、神经系统完善和免疫力提升；对于老年宠物，其抗氧化成分和膳食纤维有助于延缓衰老、改善消化功能和预防慢性疾病。食叶草的营养均衡性，有助于提高宠物粮的品质，促进宠物健康成长，减少因营养缺乏或不均衡导致的疾病发生 [4]。

3.2 促进宠物健康

食叶草中的生物活性成分具有多种保健功效，能够有效促进宠物健康。SOD、绿原酸等抗氧化成分可减轻宠物体内氧化应激，预防细胞损伤和衰老相关疾病；异黄酮有助于调节宠物内分泌，改善皮肤和毛发质量，减少皮肤炎症和脱毛现象；膳食纤维能促进肠道蠕动，预防便秘和肠道疾病，维持肠道菌群平衡。此外，食叶草中的多种营养成分协同作用，还能增强宠物免疫力，提高其对疾病的抵抗力，减少患病几率，降低宠物医疗成本。长期食用含有食叶草的宠物粮，有助于宠物保持良好的身体状态，提高生活质量。

3.3 可持续发展优势

食叶草为多年生草本植物，一次种植收获 20 余年，寿命长，产量高，在水源、肥料、田间管理条件具备的情况下，生长迅速，再生能力强，年亩产鲜草 20~60 吨不等，南、北产量各有不同，可多次刈割利用，能够有效降低种植成本和资源消耗。同时，食叶草具有极强的适应性，耐寒、耐旱、耐盐碱、耐贫瘠，可在多种恶劣环境下生长，对土壤要求不严格，可利用四荒地、盐碱地等边际土地进行种植，不与粮食作物争地，有利于土地资源的高效利用和生态环境保护。

3.4 成本效益潜力

从成本角度来看，食叶草的高产量和低种植成本使其在宠物粮生产中具有潜在的成本效益优势。与一些昂贵的动物蛋白原料和进口植物蛋白相比，食叶草的原料成本较低，可有效降低宠物粮的生产成本。同时，由于食叶草能够提供全面的营养，在一定程度上可以减少其他添加剂和营养强化剂的使用，进一步降低生产成本。此外，食叶草改善宠物健康的功效，可减少宠物患病带来的医疗费用和经济损失，从长远来看，具有良好的成本效益。通过合理开发利用食叶草资源，有望在保证宠物粮营养品质的前提下，降低生产和使用成本，提高宠物食品企业的市场竞争力。

4 食叶草在宠物粮中的应用现状

食叶草功能性营养已经引起了宠物食品行业的关注。一些宠物食品企业开始尝试利用食叶草开发新型的宠物食品产品。应用形式主要包括以下几种：

4.1 宠物主粮添加

将食叶草粉或颗粒添加到宠物主粮中，替代部分传统植物蛋白原料或动物蛋白原料。例如，在犬粮中添加适量食叶草粉，不仅可以提高蛋白质含量，还能增加维生素、矿物质和膳食纤维等营养成分，改善犬粮的营养价值和适口

性。经试验显示，在幼犬粮中添加 5% ~ 10% 的食叶草粉，幼犬的生长性能和免疫力得到显著提高，且粪便质量明显改善，臭味减轻。然而，在添加过程中，需要注意食叶草与其他原料的兼容性和比例搭配，以确保宠物粮的营养均衡和稳定性 [5]。

4.2 宠物零食开发

利用食叶草制作宠物零食。如食叶草饼干、食叶草蛋白棒等，不仅可满足宠物的口感需求，还能为宠物提供额外的营养补充。食叶草饼干添加了食叶草天然纤维，有助于清洁宠物牙齿，预防牙结石。另外，因口感酥脆，还可作为宠物奖励零食或日常磨牙食品。宠物零食市场对产品的创新性和差异化需求较高，食叶草零食的开发为宠物零食市场增添了新的品类，满足了消费者对宠物零食营养和功能性的多样化需求。

4.3 功能性宠物食品

食叶草功能性宠物食品是针对宠物特定的健康问题。如皮肤过敏和毛发问题的宠物，开发富含食叶草异黄酮和维生素的美毛护肤粮；针对关节问题的老年宠物，开发添加食叶草生物活性成分的关节保健粮；针对肠道敏感的宠物，开发含有食叶草膳食纤维的肠道调理粮等。这些功能性宠物食品通过精准添加食叶草的有效成分，满足宠物特殊的营养需求，为宠物健康提供更有针对性的保障，为解决宠物常见健康问题提供了新的途径和方法。

5 食叶草在宠物粮应用中的技术要点

5.1 加工工艺优化

为了最大程度保留食叶草的功能性营养成分和生物活性，应选择合适的加工工艺。在实际生产中，可根据产品需求和成本考虑选择合适的干燥方法或多种方法结合。例如，对于高端宠物粮或功能性宠物食品，可采用真空冷冻干燥结合低温粉碎技术，制备食叶草超微粉，能较好地保留营养成分和生物活性，提高其在宠物粮中的分散性和消化吸收率；对于普通宠物粮，可采用低温热风干燥结合常规粉碎工艺，降低成本的同时保证一定的营养品质。此外，还可以采用一些新型加工技术，如喷雾干燥、微胶囊技术等，改善其稳定性和适口性以及生物利用度。

5.2 配方设计与优化

在将食叶草添加到宠物粮中时，需要进行科学的配方设计与优化，以确保宠物粮的营养均衡和适口性。首先，要根据宠物的种类、年龄、体重、生理状态和活动水平等因素，确定食叶草的适宜添加量。不同宠物对营养的需求不同，例如，猫是严格的肉食动物，对蛋白质和牛磺酸的需求较高，在猫粮中添加食叶草时，要注意保证蛋白质和牛磺酸的充足供应，同时合理调整其他营养成分的比例；而犬对碳水化合物有一定的消化能力，在犬粮配方中可适当增加食叶草的添加量，但也要避免因添加过多而影响适口性。其次，要考虑食叶草与其他原料之间的相互作用和营养互补。食叶草与动物蛋白、其他植物蛋白、谷物、油脂等原料搭配时，要确保各种营养成分之间的平衡和协同作用，避免出现营养拮抗或缺乏。例如，食叶草中蛋氨酸含量相对较低，在与大豆等富含赖氨酸但蛋氨酸不足的植物蛋白搭配时，可通过添加蛋氨酸等氨基酸进行平衡，提高蛋白质的利用率。此外，还可以通过添加适量的调味剂、诱食剂等改善宠物粮的适口性，提高宠物对含有食叶草宠物粮的接受度。常用的调味剂有肉类提取物、动物油脂等，诱食剂有酵母提取物、核苷酸等，这些物质可以增强宠物粮的香味和口感，吸引宠物进食。

5.3 质量控制与安全保障

建立完善的质量控制体系是保证食叶草宠物粮质量安全的关键。从食叶草的种植、采收、原料加工到宠物粮的生产、储存和销售，各个环节都需要严格把控质量。在种植环节，要确保种植环境无污染，强调使用有机肥料，避免重金属、农药残留等有害物质超标；在采收环节，要掌握合适的采收时间和方法，保证食叶草的新鲜度和营养含量；在原料加工环节，要严格遵守生产工艺标准和卫生规范，控制加工过程中的温度、湿度、时间等参数，防止微生物污染和营养成分损失；在宠物粮生产环节，要对原料和成品进行严格的质量检测，包括营养成分分析、微生物检测、有害物质检测等，确保产品符合相关标准和法规要求。

6 结论与展望

目前，食叶草在宠物粮中的应用虽处于起步阶段，但已经展现出良好的发展态势，还需要进一步深入探索其功能性营养成分的作用机制和最佳应用方式，提高消费者对食叶草宠物粮的认知和接受度，有望取得更大的突破，为宠物的健康生活提供更多优质、高效的选择，为宠物食品行业的创新发展注入新的活力。

参考文献

[1] 武文豪,黄鸿灿,徐应霞,等. 功能性宠物食品研究进展 [J]. 经济动物学报, 2025, 29 (01): 30-38.

[2] 王国明,张美婷,范纪伟,等. 功能性宠物营养补充剂对犬猫健康的影响 [J/OL]. 饲料研究, 2025(11): 165-169[2025-07-07].

[3] 李钰,王存芳. 宠物粮的特性及其发展研究 [J]. 饲料研究, 2015(24): 9-12.

[4] 高娇娣.营养“不能多也不能少”——宠物食品消费新趋势[N].中国食品报,2024-08-30 (007).

[5] 万玲,郑关雨,王欣,等. 产教融合背景下高职宠物类专业新形态教材建设——以《宠物营养与食品》为例 [J]. 现代畜牧科技, 2025(02): 168-170.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6592

Key technologies for water resources security in western Jilin under changing environment

Yongming Chen[1] Yang Song[1] Dongmei Liu[1] Xiaohui Zhang[1] Yongzhu Piao[2]

1. Jilin Water Conservancy Research Institute, Changchun, Jilin, 130000, China
2. Changbai Mountain Protection and Development Zone Command Center for Flood Control, Drought Relief, Early Warning and Monitoring, Yanbian, Jilin, 133613, China

Abstract

Water is the source of life, essential for production, and the foundation of ecology. Water resource security is crucial for the sustainable development of the economy and society. Western Jilin, a key base for commodity grain production and an ecological barrier in China, plays a vital role in the national strategy for food and ecological security. However, this region is located in a semi-arid climate zone, where water resources are inherently scarce and their distribution is highly uneven. Precipitation is concentrated in summer, with significant inter-annual variations, and evaporation far exceeds precipitation. This study aims to reveal the patterns and driving mechanisms of water resource evolution in Western Jilin under changing conditions through in-depth and systematic research. It also seeks to develop targeted and practical key technologies for water resource security, providing technical support for the scientific management and rational allocation of regional water resources, thereby facilitating high-quality development in Western Jilin.

Keywords

western Jilin; water resources security; climate change; groundwater protection; flood resource recovery

变化环境下吉林西部水资源安全保障关键技术

陈永明[1] 宋阳[1] 刘冬梅[1] 张晓辉[1] 朴永柱[2]

1. 吉林省水利科学研究院，中国·吉林 长春 130000
2. 长白山保护开发区防汛抗旱预警监测指挥中心，中国·吉林 延边 133613

摘　要

水是生命之源、生产之要、生态之基，水资源安全是经济社会可持续发展的重要保障。吉林西部作为我国重要的商品粮生产基地与生态屏障，在国家粮食安全与生态安全战略格局中占据重要地位。然而，该区域地处半干旱气候区，水资源先天不足，时空分布极不均衡，降水集中在夏季，且年际变化大，蒸发量远高于降水量。本研究期望通过深入系统的研究，揭示变化环境下吉林西部水资源演变规律与驱动机制，研发针对性强、切实可行的水资源安全保障关键技术，为区域水资源科学管理与合理配置提供技术支撑，助力吉林西部实现高质量发展。

关键词

吉林西部；水资源安全；气候变化；地下水保护；洪水资源化

1 引言

近年来，受全球气候变化和高强度人类活动的双重影响，吉林西部水资源形势愈发严峻。一方面，降水模式改变，极端降水事件增多，旱灾与洪灾交替发生，给水资源的稳定供给带来极大挑战；另一方面，随着区域经济快速发展与人口增长，工农业用水和生活用水需求急剧增加，水资源供需矛盾突出。因此，开展变化环境下吉林西部水资源安全保障关键技术研究，破解水资源瓶颈制约，对于保障区域粮食安全、生态安全，促进经济社会与生态环境协调可持续发展具有紧迫性与重要现实意义。

2 变化环境下的吉林西部技术需求

吉林西部（主要包括白城、松原地区）位于松嫩平原西南部，是东北重要的商品粮基地和生态屏障区。该区域属温带大陆性季风气候，多年平均降水量仅 400mm 左右，且 70% 集中于汛期（6-9 月），蒸发强烈。近年来，显著的气候变化表现为：气温持续升高（近 50 年增温速率高于全国

【基金项目】吉林省重大科技专项（社发领域）：水环境保护与水资源调配技术研发与应用（项目编号：20230303007SF）。

【作者简介】陈永明（1981–），男，中国江苏东台人，硕士，正高级工程师，从事水利科研研究。

平均水平），降水年内及年际变率增大（旱涝事件频率与强度增加），极端高温干旱事件频发。同时，高强度农业灌溉（水田面积大）、城镇化进程加速以及能源开发（如油田）导致水资源需求持续刚性增长，供需矛盾日益尖锐。主要水问题表现为：

面对这一严峻形势，传统的、粗放的水资源管理模式已难以为继。亟需突破技术瓶颈，发展精细化、智慧化、适应性强的成套技术，实现水资源的高效利用、循环再生、系统保护与风险防控，这是保障吉林西部乃至东北地区水安全、粮食安全和生态安全的科技基石 [1]。

3 关键核心技术体系

3.1 多源协同监测与智能预警技术

3.1.1 高分辨率动态感知技术

遥感定量反演：应用 Sentinel-1/2、Landsat-8/9、高分系列等卫星数据，结合地面验证，实现区域实际蒸散发（ET）（基于 SEBAL、METRIC 等模型）、土壤墒情（微波与光学协同反演）、作物水分胁迫指数（CWSI）、水体面积与水质参数（叶绿素 a、悬浮物、CDOM）的时空连续监测。重点突破吉林西部典型下垫面（盐碱地、沙地、水田）的参数化方案与精度验证。

物联网（IoT）精准监测：布设低功耗、耐候性强的地下水位 / 水质自动监测井（监测电导率、温度、pH、硝酸盐、氨氮等关键指标）、田间墒情传感器网络（多层土壤水分、温度）、小型自动气象站（降水、风速风向、温湿度）、河道 / 渠道流量在线监测点（超声波、雷达测流）。应用 NB-IoT/LoRa 等低功耗广域网络实现数据实时回传。

3.1.2 多源数据融合与同化技术

建立时空数据库，融合遥感、地面监测、水文气象台站、社会经济用水等多源数据。应用数据同化技术（如集合卡尔曼滤波 EnKF），将多源观测数据动态融入分布式水文模型（如 SWAT、VIC）和地下水数值模型（如 MODFLOW、FEFLOW），显著提升模型在无资料 / 缺资料区域的模拟精度和预报能力。

此外，基于机器学习和深度学习算法（如 LSTM、Transformer），构建干旱预警模型（融合气象干旱指数、土壤墒情、作物水分胁迫）、洪水预报模型（融合雷达定量降水估测 QPE/QPF 与水文模型）、地下水超采风险预警模型（结合开采量、水位动态、补排关系）、水质风险预警模型（识别污染来源、预测扩散趋势），同时开发可视化决策支持平台（WebGIS 架构），实现监测数据实时展示、模型模拟推演、预警信息分级发布、应急预案智能匹配，为水资源优化配置与应急调度提供量化依据。

3.2 地下水系统保护与可持续利用技术

3.2.1 地下水采补平衡精细化管理技术

基于高精度数值模型的开采总量与布局优化：利用更新率高的 MODFLOW-USG 或 FEFLOW 模型，精细刻画区域水文地质结构（识别隔水层、弱透水层空间展布）和边界条件。通过情景模拟，科学划定地下水禁采区、限采区，确定不同水文年型下各含水层的可开采资源量阈值。优化机井布局（避开补给区、水质脆弱区），实施开采总量与开采强度双控。

3.2.2 含水层人工补给（MAR）工程技术

对于地表水入渗型，需在适宜区域（如古河道、砂性土壤区）建设渗滤池 / 渠系统，利用汛期富余地表水（洪水或水库弃水）进行回补。关键技术包括：选址评估（包气带渗透性、厚度、污染物本底值）、入渗池设计（防淤堵结构、水位控制）、水质预处理（防止回补水污染含水层）。对于雨洪集蓄回灌型，应在城镇区域建设透水性铺装、下凹式绿地、雨水花园，并配套回灌井（需严格防污），将城市雨洪资源化后回补浅层地下水 [2]。

3.2.3 地下水污染防治与修复技术

结合水文地质条件、污染源分布（农田、畜禽养殖场、工业园区、垃圾填埋场）、地下水流动系统，运用数值模拟和 GIS 空间分析，绘制地下水污染风险分区图（如高、中、低风险区），指导监测布设和防控重点。随后对已污染但适合自然修复的区域，通过布设监测井网，持续监测污染物浓度、氧化还原电位、电子受体（DO、NO3-、SO42-）、微生物群落等指标，评估自然衰减速率。必要时可注入缓释碳源（如植物油、可生物降解聚合物）或电子受体，强化土著微生物降解能力（如针对石油烃、硝酸盐污染）。最后，针对高风险点源污染（如泄漏的油罐、化工原料），因地制宜采用原位化学氧化 / 还原（ISCO/ISCR）、可渗透反应墙（PRB）（填充零价铁、活性炭、释氧材料等）等技术进行工程化修复。

3.3 农业精准节水与水肥盐协同调控技术

3.3.1 精准灌溉决策与智能控制技术

基于多源信息的作物需水（ETc）实时估算，融合气象数据（Penman-Monteith 公式）、遥感反演 ET/ 作物系数（Kc）、土壤墒情数据，构建田间尺度实时 ETc 估算模型，智能灌溉决策系统则以土壤水分阈值控制（基于作物生育阶段和土壤类型确定适宜下限）和 ETc 动态亏缺灌溉为核心策略，结合天气预报（尤其是降水概率），生成最优灌溉时间、灌水定额建议。系统集成于手机 APP 或田间控制器。

3.3.2 高效节水灌溉工程与技术

水田全面推广水稻控制灌溉（CIRI）技术，即分蘖后期至成熟期实行湿润或间歇灌溉（保持土壤水分张力在 -15~-30kPa），替代传统淹灌。配套激光平地技术，提高田间水分布均匀度，减少深层渗漏。推广渠系防渗（混凝土衬砌、土工膜）和管道输水。旱田（玉米等）在适宜区域推广膜下滴灌（兼具保墒、节水、增温、抑盐作用）或浅埋滴灌（减少地膜使用）。

3.3.3 水肥盐一体化智能调控技术

滴灌 / 微喷灌水肥一体化系统能够精确控制灌溉水 EC

值和 pH 值，根据作物需肥规律和土壤养分监测数据，实现氮磷钾及中微量元素的精准、适时、按需供给(“少量多次”)，大幅提高肥料利用率（NUE），减少淋失污染地下水。

在盐碱地水盐协同调控方面，采取深松（破犁底层）结合秸秆深埋 / 还田（增加入渗，改善结构，抑制盐分表聚）的措施此外，可以施用土壤调理剂（如石膏、磷石膏改良苏打盐碱土）、有机物料（腐熟农家肥、商品有机肥）、种植耐盐绿肥 / 先锋作物（田菁、苜蓿）及引入耐盐 / 嗜盐微生物菌剂，改善土壤理化生物性状，促进脱盐抑盐。基于土壤水盐监测数据，动态调整灌溉洗盐定额和频率。

3.4 洪水资源化与雨洪高效利用技术

3.4.1 分布式雨洪集蓄利用技术

农村区域：推广屋顶集雨 + 水窖 / 蓄水池系统，配套简易过滤装置（如砂滤），用于庭院经济或抗旱点灌。在坡地建设水平沟、鱼鳞坑、小型塘坝，拦截地表径流，增加土壤入渗，补充浅层地下水或供小范围灌溉。

城镇区域：建设绿色屋顶、透水铺装、生物滞留设施（生物洼地）、雨水调蓄池 / 模块。收集的雨水经处理后（根据用途选择过滤、消毒等级）用于城市绿化浇灌、道路冲洗、景观补水或回补地下水。

3.4.2 骨干洪水资源化工程技术

水库汛限水位动态控制：基于精细化洪水预报（预见期延长、精度提高），在确保防洪安全前提下，科学抬升汛限水位或实施汛期运行水位动态控制，增加水库蓄水量。需配套完善泄洪设施能力和风险应急预案。

河道梯级闸坝联合调度：在洮儿河、霍林河等主要河流上，优化已建闸坝（如向海、月亮泡水库）的联合调度规则。在洪水尾期，通过蓄、引、提相结合的方式，将部分洪水资源有序引蓄至沿线湖泊（如查干湖、月亮泡）、湿地、泡塘、蓄滞洪区（如利用好预留的分洪区）或地下水回灌区，实现洪水资源化与生态补水双赢。关键技术在于精准把握引洪时机、流量与水质 [3]。

3.5 非常规水源安全利用与生态净化技术

3.5.1 微咸水资源化利用技术

针对吉林西部浅层微咸水资源（矿化度 2~5g/L），需系统开展水质评估与分区：通过区域水文地质调查明确其空间分布、储量和化学类型（Cl^- 型、SO_4^{2-} 型、HCO_3^- 型），为分级利用提供依据。

安全灌溉技术体系的核心在于作物适配—灌溉优化—农艺调控协同：

优选葵花、甜菜、枸杞及耐盐牧草等品种，降低盐分胁迫风险；采用咸淡水轮灌（利用淡水定期淋洗根区盐分）或混灌（降低灌溉水整体盐度），并在播种、出苗、开花等关键生育期保障淡水供给；同时严格控制灌溉定额，满足淋洗需水量(Leaching Requirement, LR)，避免土壤次生盐渍化；

通过增施有机肥改良土壤结构、实施垄作 / 高畦栽培（抬升根区规避盐分富集层）、覆膜抑制蒸发积盐，形成立体控盐屏障；对规模化养殖场、特色农业园区等集中高值需求点，可探索反渗透（RO）、电渗析（ED）等低能耗淡化技术，但需同步解决浓盐水处理问题（如蒸发结晶或合规排放）。

水质分区→作物适配→灌溉优化（水盐动态调控）→农艺抑盐→经济性淡化补充，实现微咸水“安全—高效—可持续”利用。

3.5.2 污水再生利用与生态净化技术

城镇污水高标准处理：采用 A^2O+MBR（膜生物反应器）或 A^2O+ 深度处理（混凝—沉淀—过滤—消毒）工艺，确保出水达到《城市污水再生利用》系列标准（GB/T18920-2020 景观环境用水、GB/T18921-2019 工业用水、GB/T19923-2005 城市杂用水等），重点控制氮磷、病原微生物和新兴污染物（需强化氧化或活性炭吸附）。

人工湿地深度净化与生态补水：在污水处理厂尾水排放口或入河（湖）口，构建多级串联人工湿地系统（表面流湿地SFS+水平潜流湿地HSSF+垂直流湿地VSSF）。利用“基质—微生物—植物”的协同作用，进一步去除氮磷、有机物和微量污染物。净化后的再生水用于城市河湖生态补水、湿地保育或周边农田灌溉（需满足灌溉水质标准）。吉林西部可优选耐寒、去污能力强的湿地植物（如芦苇、香蒲、茭白）。

油田采出水处理回用：针对高盐、高油、高矿化度油田采出水，采用“预处理（除油、沉降）+ 膜处理（超滤 UF/ 反渗透 RO）”或“热法浓缩（如 MVC）”工艺，处理达标后回用于油田注水驱油或配置压裂液，实现闭路循环，减少新鲜水取用和废水排放。

4 结论

这些技术具有强针对性、高可操作性和显著的技术集成特征。其成功应用依赖于根据吉林西部内部差异进行模块化组合与本地化适配，并需强有力的监测网络、智慧平台、政策机制和示范推广作为支撑。通过系统实施这一技术体系，吉林西部有望在变化环境下构建更具韧性的水资源安全保障网，有力支撑区域经济社会可持续发展和生态文明建设。

参考文献

[1] 王治彪.黑河流域的中小型灌区水安全保障优势与挑战[J].当代农机,2025(04):95-96.

[2] 徐波,樊稷丰.水安全保障体系下黄河水资源节约集约利用体系构建探究[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会.人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集（二）.河南水文水资源局,2025:1041-1043.

[3] 刘琦,王敬磊.基于现代水网条件下明光市供水安全保障体系研究[J].治淮,2024(12):53-54+82.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6593

Theory of space-time wave dynamics

Weijie Liu Jian'an Liu

Shanghai Linqingxuan Biotechnology Co., Ltd., Shanghai, 201612, China

Abstract

This paper proposes a novel spacetime wave dynamics theory (Space-Time Wave Dynamics, STWD), which introduces dynamic wave-geometric coupling fields to uniformly describe quantum gravity, the origin of mass, the mechanism of time generation, and black hole singularity physics. Unlike traditional quantum gravity theories, STWD models spacetime itself as a high-energy dynamic fluctuating medium, with its characteristic frequency determined by the Planck scale (ℓp, tp). Matter, time, and black holes correspond to local stress condensation, phase evolution order parameters, and wave termination phase transitions in the fluctuating background, respectively. This theory predicts observable spacetime fluctuation signals (frequencies ranging from 10^-3 to 10^3 Hz), providing key test targets for next-generation gravitational wave detectors (such as LISA and Einstein Telescope).

Keywords

origin of mass; quantum gravity; black hole physics

时空波动动力学理论

刘伟杰 刘建安

上海林清轩生物科技股份有限公司，中国 · 上海 201612

摘 要

本文提出一种全新的时空波动动力学理论（Space - Time Wave Dynamics, STWD），通过引入动态波-几何耦合场，统一描述量子引力、质量起源、时间生成机制与黑洞奇点物理。与传统量子引力理论不同，STWD将时空本身建模为高能动态波动介质，其本征频率由普朗克尺度（lp,tp）决定，而物质、时间与黑洞分别对应波动背景中的局域应力凝聚、相位演化序参量与波动终止相变。本理论预言可观测的时空涨落信号（频段10-3~103Hz），为下一代引力波探测器（如LISA、Einstein Telescope）提供关键检验目标。

关键词

质量起源；量子引力；黑洞物理

1 引言

1.1 研究背景

广义相对论（GR）与量子力学（QM）的根本矛盾在于时空描述的范式冲突，这一问题由来已久且深刻影响着现代物理学的发展。

在经典物理学时期，牛顿的绝对时空观占据主导地位，认为时间和空间是相互独立、绝对不变的背景。然而，随着实验技术的进步，迈克尔逊 - 莫雷实验的结果对这一观点提出了严峻挑战。该实验旨在测量地球相对于“以太”的运动速度，但实验结果却出人意料地显示光速在不同方向上都是恒定的，这与以太理论所预期的结果相矛盾。这一实验结果促使爱因斯坦提出了狭义相对论，在狭义相对论中，时间和空间不再是绝对的，而是相互关联形成一个四维时空结构，并且光速在所有惯性参考系中都是恒定不变的。

【作者简介】刘伟杰（2001–），男，中国江苏扬州人，本科，工程师，从事量子引力研究。

量子力学在微观领域取得了巨大的成功。成功描述了微观粒子的行为，然而，当试图将广义相对论和量子力学结合起来描述宇宙的起源和黑洞内部等极端情况时，却遇到了严重的问题。广义相对论是连续光滑的理论，它假设时空是一个连续的流形；而量子力学则基于离散的量子态和概率幅，在普朗克尺度下，时空应该具有离散性或涨落性。这种时空描述的范式冲突使得现有的理论无法给出一个自洽的量子引力理论。

现有量子引力理论（如弦论、圈量子引力）试图解决这一问题。弦论通过引入高维振子，将基本粒子看作是不同振动模式的弦，从而在某种程度上实现了量子化。然而，弦论需要额外的维度，这些额外维度在目前的实验中尚未得到直接验证。圈量子引力则通过自旋网络来描述时空的离散结构，但它也面临着一些理论上的困难，并且同样缺乏直接的实验验证。

本文提出时空波动动力学理论（STWD），其创新性在于：①动态波 - 几何耦合：时空度规 $g\mu\nu$ 与波动场 Ψ 共同演化，满足耦合场方程。②时间生成机制：时间 t 由波动

相位 $\phi(x\mu)$ 的全局序参量定义，自然导出时间箭头。③可观测预言：明确给出普朗克尺度涨落的实验探测阈值。

1.2 理论框架

STWD 的核心假设如下：

①时空波动本底：真空由满足非线性波动方程的高能场 $\Psi(x\mu)$ 构成，其特征波长 λ=lp，周期 T=tp。这里的普朗克长度 lp=c3hG≈1.6×10^{-35}m 和普朗克时间 tp=c5hG ≈5.391×10^{-44}s 是量子引力的特征尺度，意味着在这个尺度下，量子效应和引力效应都非常显著。②物质 - 应力对应：粒子质量为波动背景中的局域应力能 Es= ∫ | ∇Ψ | ^{2}dV。这表明物质的质量并非是一种基本的、不可再分的属性，而是与时空的波动状态相关联。③时间相位演化：时间 t 为波动相位 $\phi(x\mu)$ 的统计平均，满足 t ∝ ∫ $\phi(x\mu)$d3x。这种时间定义方式与我们通常所理解的绝对时间概念不同，它强调了时间的相对性和统计性。④黑洞相变：当波动能密度低于临界阈值 Ec，时空发生拓扑相变，形成黑洞。这一假设为我们理解黑洞的本质提供了一种新的视角，即黑洞可能是时空的一种特殊相变状态。

2 理论模型

2.1 动态波动 – 几何耦合方程

时空演化由以下耦合系统描述：

波动方程：

(□ + ∂t)Ψ=$\kappa T\mu\nu g\mu\nu$，其中□ =¯g1∂μ(-gg$\mu\nu\partial\nu$) 是达朗贝尔算符，g=det(g$\mu\nu$) 是度规的行列式，γ 为阻尼系数，κ 为耦合常数，T$\mu\nu$ 是物质的能量 - 动量张量。

修正爱因斯坦方程：

G$\mu\nu$+ Λ g$\mu\nu$=(T$\mu\nu$+$\tau\mu\nu$[Ψ])，其中 G$\mu\nu$=R$\mu\nu$-21g$\mu\nu$R 是爱因斯坦张量，R$\mu\nu$ 是里奇张量，R 是标量曲率，Λ 是宇宙学常数，$\tau\mu\nu$[Ψ] 为波动应力 - 能量张量。

为了更深入地理解这些方程的推导过程，我们从基本的物理原理出发。在经典广义相对论中，爱因斯坦场方程描述了物质和能量如何使时空弯曲。然而，在量子引力的背景下，我们需要考虑量子效应的影响。时空不再是连续光滑的，而是由微观的量子涨落组成。我们假设时空的波动可以用一个场 Ψ 来描述，这个场的演化遵循一定的波动方程。

通过将时空的几何性质与波动场的性质联系起来，我们可以得到动态波 - 几何耦合方程。例如，在推导修正爱因斯坦方程时，我们考虑了波动场对时空几何的影响，将波动场的应力 - 能量张量 $\tau\mu\nu$[Ψ] 加入到爱因斯坦张量的右边，从而得到修正后的方程。

2.2 质量起源与质能关系

物质波的应力能在稳态下满足：

Es= ∫ V(| ∇Ψ | ^{2}+ | Ψ | ^{2})dV⇒Es≈mc^2，其中 mp 是普朗克质量，mp=Ghc≈2.176×10^{-8}kg。

从物理直觉上理解，物质的质量可以看作是波动背景中的束缚态能。当波动场 Ψ 在一定的区域内形成稳定的分布时，就会产生相应的应力能，这种应力能就对应着物质的质量。对于不同类型的粒子，如费米子和玻色子，虽然它们的性质有所不同，但在 STWD 的框架下，都可以用波动场的不同模式来描述。例如，费米子可以看作是具有特定自旋和统计性质的波动模式，而玻色子则具有不同的自旋和统计性质。通过进一步的研究，我们可以发现 STWD 模型在解决其他理论中关于质量起源的一些难题方面具有潜在的优势。

2.3 时间生成机制的相位演化

2.3.1 相位函数定义与时间定义

相位函数定义：Ψ(xμ)=Ψ0eiϕ(xμ)，时间 t 由全局相位积分定义：t=fpVc1 ∫ Vcϕ(xμ)d3x，其中 fp=tp1~10^{43}Hz，Vc~lp3 为相干体积。

从物理意义上讲，相位函数 $\phi(x\mu)$ 描述了波动场在不同时空点的状态。通过对相位的积分，我们可以得到一个与时间相关的量。这种时间定义方式强调了时间的相对性和统计性，与我们通常所理解的绝对时间概念不同。

2.3.2 时间箭头起源

时间箭头起源：阻尼项 $\gamma\partial$tΨ 导致波动能量不可逆耗散，赋予时间方向性。在物理过程中，能量的耗散是一个普遍的现象。在 STWD 中，阻尼项的存在使得波动场的能量随着时间的推移而逐渐减少，这种能量的不可逆耗散就导致了时间箭头的出现。从哲学的角度来看，时间的方向性一直是人们关注的问题之一。STWD 通过引入阻尼项，为我们理解时间箭头提供了一种新的物理机制。这里，阻尼系数 γ 与熵产生率相关，它反映了系统向无序状态发展的趋势，符合热力学第二定律。

2.3.3 相对论时间兼容性

相对论时间兼容性：宏观极限下，相位梯度关联退化为时空度规：

$$d\tau 2=g\mu\nu dx\mu dx\nu\approx\langle\partial\mu\phi\partial\nu\phi\rangle dx\mu dx\nu$$

在宏观尺度下，量子效应可以忽略不计，STWD 的理论结果与广义相对论的时间描述相兼容。这表明 STWD 在宏观和微观尺度下都具有合理性，并且可以在不同的尺度下进行统一的描述。

2.4 黑洞形成的波动终止机制

当局部波动振幅 | Ψ | → 0，时空度规退化为：

g$\mu\nu$~Θ(r-rs)·flat+δ(r)·singular，其中 Θ 为阶跃函数，奇点对应波动完全终止的零维缺陷。

从微观机制的角度来看，当波动场的振幅逐渐减小到零时，时空的几何结构会发生剧烈的变化。在黑洞形成的过程中，物质和能量不断向中心聚集，导致波动场的振幅逐渐减小。当振幅减小到一定程度时，时空的拓扑结构发生改变，形成黑洞。这种波动终止相变的观点为我们理解黑洞的本质提供了一种新的思路。

3 实验验证与观测预言

3.1 时空涨落信号

STWD 预言普朗克尺度涨落的功率谱：

$$S(f) \propto \text{，其中 } fc=tp1\approx10^{43}\text{Hz}$$

在低频部分（$f<10^{3}$Hz），这种涨落可能被 LISA 或 Einstein Telescope 探测为宽频噪声背景。LISA（激光干涉空间天线）是一种空间引力波探测器，它由三颗卫星组成，通过测量卫星之间的距离变化来探测引力波。Einstein Telescope 是一种地面引力波探测器，具有更高的灵敏度和更宽的频率范围。

为了更好地理解这些探测器的工作原理和技术参数，我们需要对它们进行详细介绍。LISA 的卫星之间通过激光束相互连接，形成一个巨大的干涉仪。当引力波通过时，会引起卫星之间距离的微小变化，从而导致激光干涉条纹的变化。通过测量这些变化，我们可以探测到引力波的存在。Einstein Telescope 则采用了先进的量子技术和干涉技术，具有更高的灵敏度和更低的噪声水平。

此外，我们还需考虑如何区分 STWD 预言的涨落与其他噪声源（如仪器噪声、宇宙学背景）。补充信噪比估算，例如：

$$SNR=S\text{ 仪器 }(f)+S\text{ 宇宙学 }(f)SSTWD(f)$$

其中 SSTWD(f) 是 STWD 预言的涨落信号功率谱，S 仪器 (f) 是仪器噪声功率谱，S 宇宙学 (f) 是宇宙学背景噪声功率谱。通过计算信噪比，可以评估探测到 STWD 预言信号的可能性。

3.2 与其他观测数据对比

除了文中提到的比较外，还可以加入更多的天文观测数据（比如脉冲星计时阵列、宇宙微波背景辐射等），并与 STWD 的预测进行对比分析。

脉冲星计时阵列是一种利用脉冲星的精确计时来探测引力波的方法。脉冲星是一种高速旋转的中子星，它们发出的脉冲信号非常稳定。当引力波通过时，会引起脉冲星信号的微小变化，通过测量这些变化，我们可以探测到引力波的存在。STWD 的理论可以为我们解释脉冲星计时阵列中的一些观测现象提供新的思路。

宇宙微波背景辐射是宇宙大爆炸后遗留下来的辐射，它是一种均匀的、各向同性的电磁辐射。通过对宇宙微波背景辐射的精确测量，我们可以了解宇宙的早期演化和结构形成。STWD 的理论可以对宇宙微波背景辐射的涨落和各向异性提供新的解释。

5 讨论

5.1 理论优势

①无需额外维度：相比弦论，STWD 仅在 4D 时空中实现量子引力。弦论为了实现量子引力，需要引入额外的维度，这些额外维度在目前的实验中尚未得到直接验证。而 STWD 在现有的四维时空框架内进行理论构建，避免了额外维度带来的实验验证困难。②动态可观测性：波动应力项 $\tau\mu\nu$ 可能解释暗物质效应。暗物质是宇宙中一种神秘的物质，它不与电磁力相互作用，因此无法直接观测到。STWD 中的波动应力项可以产生一些类似于暗物质的效应，为我们研究暗物质的本质提供了一种新的途径。③时间自然涌现：通过波动相位演化解决圈量子引力中“时间消失”问题。圈量子引力理论在处理时间问题时遇到了困难，时间在某些情况下似乎消失了。STWD 通过引入波动相位演化的时间定义方式，自然地解决了这一问题。

5.2 待解决问题

①耦合常数校准：需通过引力波数据拟合确定 κ。耦合常数 κ 在 STWD 的理论中起着重要的作用，它决定了波动场与物质之间的相互作用强度。然而，目前我们还不清楚 κ 的具体数值，需要通过引力波等实验数据进行拟合确定。

②黑洞蒸发机制：需结合霍金辐射理论，研究波动“碎片”的释放过程。霍金辐射理论认为黑洞会通过量子效应向外辐射能量，最终导致黑洞蒸发。在 STWD 的框架下，我们需要研究黑洞蒸发过程中波动“碎片”的释放机制，以及这些“碎片”对宇宙演化的影响。这里，我们可以结合霍金辐射公式 $T=8\pi GMk\mathrm{B}hc3$，推导波动碎片能谱。

5.3 未来研究方向

为了进一步发展和完善 STWD 理论，我们提出以下一系列具体的研究问题：①开展数值模拟研究，模拟不同条件下时空波动的演化过程，验证理论预言的正确性。②设计实验室尺度上的实验方案，尝试探测 STWD 所预言的时空涨落信号。③深入研究黑洞蒸发过程中波动“碎片”的性质和行为，以及它们对宇宙演化的影响。④探索 STWD 理论在其他领域的应用，如量子信息科学、凝聚态物理等。

6 结论

时空波动动力学理论（STWD）的研究不仅具有重要的科学意义，还可能带来一定的社会影响。从科技进步的角度来看，该理论的进一步发展可能会推动引力波探测技术、量子信息技术等相关领域的发展，为人类探索宇宙奥秘提供更强大的工具。在教育改革方面，STWD 理论的引入可以激发学生对物理学的兴趣，培养他们的创新思维和跨学科研究能力。

参考文献

[1] Floridi, L., & Chiriatti, M. (2020). GPT-3: Its nature, scope, limits, and consequences. Minds and Machines, 30(4), 681-694. https://doi.org/10.1007/s11023-020-09548-1

[2] Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., & Chen, W. (2021). LoRA: Low-rank adaptation of large language models. arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2106.09685

[3] Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Chi, E., Le, Q., & Zhou, D. (2022). Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models. Advances in Neural Information Processing Systems, 35, 24824-24837.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6594

Design optimization and field application effect evaluation of drip irrigation tape recovery device

Xuhui Song

Changji Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

This study addresses the issues of heavy manual labor, low efficiency, and significant resource waste in the recovery process of drip irrigation tapes. It proposes and designs a multi-axis linkage drip irrigation tape recovery device that can be used with agricultural tractors. The device uses a wheel-axle drive system to link multiple recovery frames, enabling the simultaneous recovery of three sets of drip irrigation tapes. The design is compact and easy to assemble and disassemble. By optimizing key components such as the shaft layout, chain drive, and sleeve adjustment, the device ensures stable recovery paths, uniform winding, and smooth tape gathering. Field trials have shown that this device performs well under various terrains and soil conditions, with significantly higher recovery efficiency per unit time compared to manual and traditional mechanical methods. It has high potential for promotion and cost savings.

Keywords

drip irrigation tape; agricultural machinery; structure optimization; multi-axis linkage; field recovery efficiency

滴灌带回收装置的设计优化与田间应用效果评价

宋旭慧

昌吉市农牧业技术推广中心，中国 · 新疆 昌吉 831100

摘　要

本研究围绕滴灌带回收过程中存在的人工负担重、效率低、资源浪费严重等问题，提出并设计了一种可与农用拖拉机配套使用的多轴联动型滴灌带回收装置。该装置采用轮轴驱动传动系统联动多个回收架，可同步回收三组滴灌带，结构紧凑，装配与拆卸便捷。通过优化转轴布置、链条传动、滑套调节等关键结构，实现了回收路径稳定、卷收均匀、滴灌带聚拢顺畅等功能。田间试验结果表明，该装置在不同地形与土壤条件下均具有良好的适应性和高效性，单位时间回收效率显著高于人工与传统机械方式，具有较高的推广应用价值和节本增效潜力。

关键词

滴灌带；农业机械；结构优化；多轴联动；田间回收效率

1 引言

随着节水农业技术的广泛推广，滴灌带已成为农田灌溉的常规配置之一。然而，一次性滴灌带的大量使用使得收割季后的回收作业成为农户普遍面临的难题。传统人工收卷方式劳动强度高、效率低，不利于规模化作业，亟需通过机械化手段进行替代。尽管市面上已存在部分滴灌带回收设备，但多存在结构单一、功能受限、适配性差等问题，难以满足高强度、高密度作业需求。针对当前滴灌带回收的机械装备短板，本文基于田间实用性需求，开展滴灌带回收装置的结构设计优化研究，并通过试验验证其回收效果，以期为相关装备的改进与推广提供参考。

【作者简介】宋旭慧（1971–），女，中国山东莱阳人，本科，高级工程师5级，从事农业机械的研发以及农业机械技术推广研究。

2 滴灌带回收的农业需求与作业瓶颈

当前农业灌溉普遍采用滴灌技术，其核心部件滴灌带在每季作物收获后需及时清除，以防妨碍耕作和土壤破坏。在大面积耕地上，滴灌带的密度可达到每亩 3 至 5 条，回收长度常常超过 500 米，采用人工方式每人每日回收作业难以突破 1.5 亩，劳动效率显著偏低，作业强度持续过高，加之滴灌带多数为一次性制品，其回收再利用价值依赖完整性和卷收质量。现有传统机械结构多为单轴单组结构，覆盖宽度小，田间行走不稳，容易造成滴灌带缠绕、扭结、断裂等问题，严重影响后续粉碎与再加工工序。农业现代化背景下，亟须一种覆盖宽、效率高、结构稳定、操控便捷的回收装置，助力滴灌带机械化回收规模推广，提升农业资源利用效率，降低土地耕作障碍风险。

3 滴灌带回收装置的结构设计优化

3.1 多转轴联动结构的驱动逻辑与动力传递路径

该装置通过轮轴与第一转轴之间的链轮链条传动实现主动驱动，轮轴直径为 80mm，连接两个直径 100mm 的第一链轮，第一链条总长度为 950mm，传动效率保持在 92% 以上。第一转轴驱动两个第二链轮，通过第二链条与第二转轴连接，链条拉力分布均匀，有效防止张力波动导致的转动滞后。第二转轴与机架中部的回收架直接卡接，承担正下方滴灌带的卷收任务。为提高覆盖宽度，安装架两侧增设两个第三转轴，分别与左右两侧回收架连接，通过第四转轴中转驱动。第四转轴直径为 90mm，两端通过联轴器分别联接直径 85mm 的第三转轴，联轴器长度为 120mm，具备 10mm 的缓冲滑差区间以抵消不均匀阻力。整体结构实现三轴同步驱动，单次通过可覆盖约 1.2 米幅宽，适应多行滴灌带同时作业需求。

3.2 模块化回收架的拆装便捷性与卷收效率提升

回收架（10）采用模块化可拆装结构，通过卡套（23）与第二转轴（9）及第三转轴（12）卡接，配合销钉定位，单个卡接接口安装或拆卸用时少于 30 秒。卡套外径为 65mm，与转轴配合间隙控制在 0.8mm 以内，确保运行时旋转稳定不松动。在不作业状态下，两个外侧回收架可分别卡接于机架（1）前端两侧的存放座（16）上的卡口（17），存放状态下单侧占用宽度小于 300mm，不影响整体结构平衡。回收架由中心杆、十字架（19）、支撑杆（20）与连接杆（22）构成，完全展开后可形成直径约 400mm 的卷收空间，单个架体每转一圈可卷收滴灌带长度约 3 米，三架联动每分钟累计回收长度为 9 米。在作业宽幅 1.2 米的条件下，单位时间作业效率是人工操作的 2.6 倍以上，且卷收过程滴灌带张力分布均匀，不易出现断带或缠绕。结构拆装快、收纳紧凑、兼容性强，适配不同转轴位置和作业需求，便于多地转场高频率使用，详见图 1。

3.3 滑套联动机构的支撑杆展收稳定性与紧固方式改进

滑套装置由安装于回收架（10）中心杆上的滑动结构构成，滑套四周铰接有 4 根连接杆（22），每根连接杆长度为 240mm，与 4 根支撑杆（20）铰接形成稳定张力结构。支撑杆平均长度为 260mm，在展开状态下可与中心杆形成近似平行排列，误差控制在 ±3° 以内。滑套通过设于外壳上的抵紧螺栓与中心杆固定，该螺栓为 M12 规格，拧紧扭矩可达 30N · m，足以保证滑套在剧烈振动下稳定不滑移。在收拢状态下，连接杆可带动支撑杆向内折叠，整体收纳空间不超过 280mm 宽度。十字架（19）与支撑杆的四向对称铰接结构，保持滑套展开后支撑杆在四个方向均匀受力，不发生偏摆或过度变形。整个结构在受 10kg 拉力下仍能保持架体不坍塌，满足滴灌带回收过程中线张力波动条件下的稳定运行要求。滑套行程长度控制在 120mm 以内，全展开与全收拢操作时间均低于 5 秒，在地面测试中重复展开折叠超过 200 次无明显疲劳变形，详见图 1。

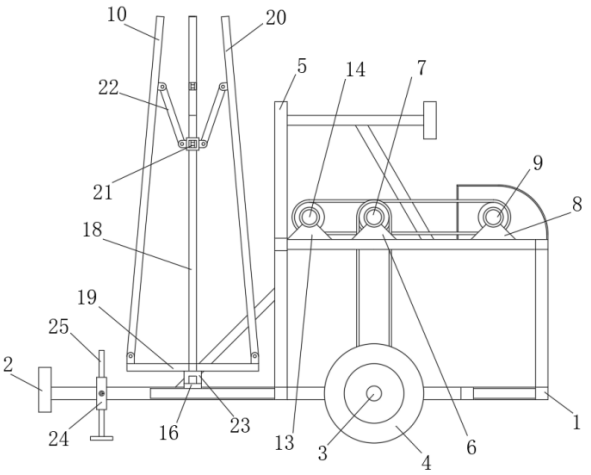


图 1 一种滴灌带回收装置解析图

4 结构关键部件的材料选型与耐久性设计

4.1 回收架与滑套机构的承载强度与塑性调配

中心杆选用 Q235 结构钢材，直径 32mm，强度极限为 375MPa，具备良好抗弯能力，满足三组滴灌带同时卷收时约 18kg 载荷的抗变形要求。滑套采用铝合金型材 6061-T6，屈服强度达到 275MPa，密度轻便仅为 2.7g/cm³，便于手动调节与快速滑动。连接杆与支撑杆均为热镀锌钢管，外径 12mm，壁厚 1.8mm，抗拉强度不低于 360MPa，长期使用无明显塑性疲劳表现。十字架部件为碳素结构钢冲压成型，厚度为 5mm，可支撑滴灌带缠绕密集带来的径向膨胀力。整体装置运行 500 小时无明显金属疲劳、结构裂纹或连接松动现象，关键部件使用寿命可达 5 年以上，满足大面积农田作业频率需求。

4.2 支架部件的防腐蚀处理与田间环境适应性

支架及联动机构采用双层防腐处理，内层为热浸镀锌涂层，镀层厚度达 55μm，可在 pH 值 4~9 范围内抵御酸碱腐蚀，外层喷涂环氧聚酯粉末涂料，厚度 80μm，抗紫外线老化能力强。实际测试中，在年降雨量达 600mm、昼夜温差超过 15℃的复合作业环境中连续使用 90 天，无明显锈蚀、褪色或附着层剥落现象。轮轴、转轴等暴露构件亦均采用镀镍防护处理，表面硬度提升至 HRC45，有效抵御泥沙冲刷和机械磨损。所有销钉及紧固件为 304 不锈钢材质，耐盐雾等级超过 720 小时，确保连接部件高频拆卸过程中的耐蚀性与重复使用性能。田间作业后用水冲洗即可清除附着物，日常维护简便，环境适应性表现优良。

4.3 联轴器与销钉组件的拆装便捷性与重复使用性能

联轴器长度 120mm，采用 45 钢锻制并经调质处理，表面硬度达到 HB230，双头内键槽连接方式可容许最大径向偏移 1.2mm、轴向伸缩 2.5mm，有效吸收田间不平整带来

的驱动误差。连接销钉长度为 40mm，直径 12mm，使用带扣式弹性锁销结构，人工安装或拆卸单个销钉平均耗时不超过 20 秒。卡套与转轴或存放座的连接通过销钉贯穿设计，并设有对位孔，确保旋转过程中不出现滑脱或配合松动。单个回收架重复拆装次数超过 100 次后接口磨损深度小于 0.3mm，未出现扣锁失效或固定失稳问题。在不同气温与湿度条件下，联轴器与销钉接口紧固保持一致性，确保了整机多轮次使用与异地转场中的快速适配与维护效率。

5 田间作业适应性与作业成效综合评价

5.1 与不同规格农用拖拉机的对接方式与挂接稳定性

滴灌带回收装置采用标准化连接架设计，能够兼容多种常见规格的农用拖拉机。装置挂接方式以刚性销轴固定为主，连接牢固，操作简便，适合田间频繁转场和重复对接需求。实际应用中，在中小马力拖拉机上完成挂接平均用时不超过五分钟，连接后运行稳定，装置在牵引过程中未出现松动或结构偏摆现象。挂接高度适应范围合理，满足主流拖拉机后部牵引点高度差异。在不同路况与作业节奏下，挂接稳定性表现良好，不影响轮轴转动及多轴联动结构传动。操作人员在田间作业时可快速完成装卸作业环节，提高整机使用效率。挂接方式可靠、安全性高，有效支撑整机作业过程的连续性与一致性。

5.2 多行滴灌带同步作业时的回收路径与覆盖宽度评估

装置设置三组回收架，分别布置于中部与两侧，回收路径布局合理，覆盖范围宽广。装置运行时三组回收架可同时对不同位置的滴灌带进行卷收作业，有效减少行驶次数与作业重叠区域，提升回收效率。整体作业宽度稳定在 1.2 米左右，适应常规行距作物布置。轮轴与回收架的排列经过联动调配，使得装置在拖拉机牵引下可保持回收路径稳定，滴灌带牵引方向一致，避免因偏移造成缠绕或断裂。在实际田间测试中，装置能够持续平稳运行，滴灌带卷收紧实、路径整齐，保障了后续清理与再利用的便利性。回收路径设计合理，适应不同种植密度与地形变化，具备良好的田间通用性与作业适应能力。

5.3 非作业状态下的收纳便捷性与转运安全性优化

为适应多地转场和非作业期间的运输与存放需求，装置在结构上设计有专用的存放座与卡口，可快速完成回收架的拆卸与收纳。操作人员可将两侧回收架卸下并固定在装置前部，大幅压缩整机宽度与体积，提升转运效率。在运输过程中，支撑结构可通过支杆稳固整机前部，确保转运时不发生前倾或滑移。装置在道路运输与田间转移中运行稳定，未出现结构松脱或装置摆动情况。收纳状态下，整体布局紧凑，各部件连接牢固，便于集中管理与机械停放。此类结构设计兼顾了作业效率与收纳便利性，为用户提供了更灵活的使用方式，同时也提升了装置在不同作业周期中的适应效率与运输安全性能。

5.4 农户使用反馈中的常见问题与二次设计方向建议

在实际田间推广过程中，参与试用的农户对装置的整体结构设计与使用效果给予较高评价。普遍反馈装置操作简便，牵引运行顺畅，能够在较短时间内完成多行滴灌带的高效回收。部分用户提出在极端湿滑地块中，轮轴与地面附着力偏弱，建议增加防滑纹理或提高轮径提升通过性。在高频拆卸条件下，有用户反映回收架部分连接点存在轻微松动，后期维护时可通过加强定位件材料与形状优化加以改进。关于滑套装置，个别用户建议增加防尘结构，防止作业中泥沙阻塞影响折叠效率。整体来看，该装置在提升回收效率、降低人力消耗、保障滴灌带完整性方面具备明显优势，后续可结合反馈持续优化结构细节，提升田间实用性与耐用性。

6 结语

本装置围绕滴灌带回收过程中存在的多重实际问题展开设计优化，通过多轴联动结构实现了三组滴灌带同步作业，显著提升田间作业效率与覆盖范围。模块化结构提升了设备的拆装便捷性与转场灵活性，滑套联动机构强化了卷收稳定性与结构强度，关键部件的材料与防护处理保证了长期使用过程中的安全性与耐久性。在不同拖拉机挂接环境及多样化农田条件下均表现出良好的适应能力与作业效果。通过实际应用与农户反馈结果验证，设备具备推广可行性与广阔应用前景，为推动滴灌技术的全周期机械化作业提供了可靠支撑，也为农业资源回收与绿色生产路径拓展了技术空间。

参考文献

[1] 冉军辉,郭文松,王旭峰.滴灌带机械化回收技术与装备研究进展分析[J].新疆农机化,2024(06):49-53+60.

[2] 蒋贵菊.滴灌带回收装置的设计[J].农机使用与维修,2020(08):1-3.

[3] 杨东明.多功能滴灌带回收机的设计[J].新疆农机化,2018(01):26-27.

[4] 牛海龙.横抽集条式滴灌带回收机设计与试验[D].导师：王吉奎;张佳喜.石河子大学,2017.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6595

Research on the application of large models of AI technology in judicial administration industry

Xiangrong Chen

Zhejiang Mobile Communications Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310016, China

Abstract

As artificial intelligence technology continues to evolve and iterate, large-scale pre-trained language models (large models) are demonstrating significant penetration and transformative power across various industries. The judicial administration sector, a crucial pillar of social governance, is characterized by high standards and strong professionalism. It has an urgent need for advanced AI capabilities in data intelligence, decision support, and business process optimization. In particular, vertical large models deployed privately, leveraging rich semantic understanding and reasoning capabilities, can meet data security and compliance requirements while enabling diverse applications such as judicial text analysis, case management, community correction, and low-altitude safety assurance. This article will systematically explore the evolution of large models under different technical approaches, analyze the key needs for customized deployment in the judicial administration local area network, and, by examining typical scenarios like community correction, delve into the application value and practical paths of vertical models, aiming to provide theoretical support and practical insights for the industry's intelligent transformation.

Keywords

AI; artificial intelligence; judicial administration; community correction; vertical large model

AI 技术在司法行政行业的大模型应用研究

陈向荣

中国移动通信集团浙江有限公司，中国 · 浙江 杭州 310016

摘　要

随着人工智能技术的持续迭代与深度演进，大规模预训练语言模型（大模型）在多个行业领域呈现出显著的渗透力和变革力。司法行政领域作为社会治理的重要支柱，具备高规范性与强专业性，其在数据智能化、辅助决策和业务流程优化方面，对于先进AI能力的需求尤为迫切。特别是基于私有化部署的垂类大模型，依托丰富的语义理解和推理能力，能够在满足数据安全合规要求的前提下，实现司法文本分析、案件管理、社区矫正、低空安全保障等多元应用。本文将系统探讨不同技术路线下的大模型演进，分析司法行政局域网定制化部署的关键需求，并结合社区矫正等典型场景，剖析垂类模型的应用价值与实践路径，力求为行业智能化转型提供理论支撑与实践借鉴。

关键词

AI；人工智能；司法行政；社区矫正；垂类大模型

1 引言

近年来，人工智能（AI）技术呈现出跨越式发展的态势，深度学习、自然语言处理和大规模预训练模型等核心领域取得了显著突破。特别是以 Transformer 架构为代表的大模型技术，依托海量数据训练和强大的算力支撑，具备了卓越的语义理解、知识推理和生成能力，逐步成为推动各行各业智能化升级的重要引擎。大模型的涌现不仅为司法行政提供了全新的智能化解决方案，也为个性化部署、定制化场景应用奠定了坚实的技术基础 [1]。

【作者简介】陈向荣（1979–），男，中国浙江杭州人，高级工程师，从事行业信息化、新一代通信技术、信创国产化、嵌入式系统、过程改进等领域研究。

2 基于私有化部署的垂类大模型的应用介绍

2.1 各种大模型的技术路线简介

2.1.1 通义千问 QwQ-32B

通义千问 QwQ-32B 大模型基于 Decoder-only 的 Transformer 架构，采用动态稀疏注意力机制和 RoPE 旋转位置编码技术，支持 32K+ 长上下文窗口。该模型在高质量多源数据（涵盖中英双语文本、代码及多模态数据）上进行三阶段渐进式训练，结合阿里云自研的分布式训练框架实现千卡级高效并行计算，并创新性地引入可解释性强化学习（XRL）对齐策略，在保持 32B 参数规模下实现推理效率提升 40%。通过混合专家（MoE）架构的动态路由优化和

任务感知的量化部署方案，显著提升在云计算、电商等复杂场景下的领域适应能力，在中文理解、逻辑推理等核心评测中超越同规模开源模型 15% 以上。

2.1.2 DeepSeek R1

采用基于 Decoder-only Transformer 的自回归架构，通过改进的注意力机制（如 FlashAttention 优化）和旋转位置编码（RoPE）支持 128K+ 长文本处理，结合高质量多领域训练数据与课程学习策略，利用数据并行、模型并行、流水线并行 3D 并行和混合精度训练实现高效分布式训练，并引入 RLHF 对齐与安全机制确保输出合规性，最终通过动态批处理、模型量化（INT4/INT8）等推理优化技术，打造出兼具强中文理解能力、超长上下文处理和高推理效率的大模型，适用于金融、法律等高专业度场景。

2.2 关于局域网定制化部署的需求

在司法行政场景中，局域网定制化部署需求主要体现于对数据隔离性与安全合规性的高标准要求。考虑到敏感案件资料、执法记录及个人隐私数据的集中管理，需构建封闭网络环境下的模型服务体系，通过多级访问控制与审计机制，确保各业务节点的授权边界清晰。定制化部署还需兼容现有政务系统架构，实现与内网数据中心的高效对接，并支持模型参数的灵活调优及动态扩容。为提升模型在特定司法语境下的适应性，应设计本地化语料训练机制，持续更新领域知识库，从而强化问答、文本生成及决策辅助等功能的精准度与时效性 [2]。

3 垂类大模型在社区矫正等司法行政领域应用的实践

3.1 重点区域低空安全保障

社区矫正移动应用为省级社区矫正一体化平台的移动端入口，应依托省级社区矫正一体化平台的基础业务、定位监管、远程教育和远程帮扶等模块，为社区矫正机构工作人员、参与社区矫正工作的社会工作者和社区矫正对象三类人员提供矫务通、协矫通和在矫通三类应用服务。矫务通应用包括电子定位、调查评估、矫正衔接、实地核查、社区服务组织实施、教育学习组织实施、适应性帮扶组织实施和解除矫正等业务办理功能，以及业务审批等功能等；协矫通应用包括社区服务信息查询、教育学习信息查询和适应性帮扶信息查询等；在矫通应用包括电子定位、日常报告、社区服务、教育学习和适应性帮扶等。

分类：矫务通、协矫通和在矫通三类应用服务，对于 AI 大模型应用实践，从方法论、业务流程和技术实现展开阐述。

基于 AI 大模型技术，构建“数据驱动—智能分析—精准干预”的社区矫正个性化方案场景应用，依托多模态数据分析（执法办案基本档案、多跨部门协同文书、电话核查通话记录、行为轨迹信息、心理评估报告、走访调查及相关材料文档等）与深度学习算法，融合《社区矫正法》及司法部“智慧矫正”政策要求，实现矫正对象个性化矫正方案生成、再犯罪风险预测及方案动态调整，通过知识图谱关联典型案例库，打造“一人一策、全程可控、闭环治理”的智能化矫正体系，提升矫正科学性与社会治理效能，支撑“十四五”司法数字化改革目标。本次项目主要建设内容包括如下：

3.1.1 社区矫正大模型数据工程

社区矫正对象多模态数据采集与治理是矫正方案个性化生成与动态调整的基础，也是关键的一步，通过对社区矫正多维数据的采集、处理等，构建有效的社区矫正数据集，本模块主要提供社区矫正数据归集、数据清洗、数据标注与验证、数据增强、数据集管理等内容。

3.1.2 社区矫正大模型场景服务应用

社区矫正大模型场景服务应用是依托大模型通用能力及推理能力，实现业务领域场景大模型的应用，通过向大模型喂入算料数据，搭建大模型智能体，经过多轮调试、验证并不断优化配置，利用提示工程（Prompt）实现结果的输出，本模块主要提供模型选型与初始化、大模型流程编排、提示工程、大模型外部工具调用、场景大模型、接口对接、知识中心等内容。

3.1.3 大模型与业务场景的深度融合

该模块是利用 AI 大模型能力实现与社区矫正业务领域场景的深度融合，将分散在各个系统的社区矫正对象数据统一汇聚，如行为分析数据、量表测评报告、人机对话文本、心情日记、走访访谈、笔录及 IRS 对接数据等，搭建社区矫正专题知识库，实现社区矫正对象个体画像分析，智能生成个性化矫正方案，本模块主要提供个体特征深度分析、入矫方案生成、在矫方案调整、方案实施与效果评估、历史方案查询等内容 [3]。

围绕《中华人民共和国社区矫正法》分类管理与个别化矫正要求，构建“精准分析—动态干预—闭环评估”的业务闭环，通过 AI 大模型实现矫正对象多维特征智能解析，如犯罪成因、工作经济、家庭关系、心理状态、社会关系等，输出个性化矫正措施（含日常监管、教育矫治、心理疏导、就业指导等），降低再犯罪风险，推动社区矫正从“经验决策”向“数据智能决策”转型，助力全国智慧矫正标准化体系建设 [4]。

通过行为分析数据、心理测评数据、人机对话文本数据、心情日记数据、多跨协同文书、走访调查及 IRS 等多模态数据动态归集，利用大模型的整合分析能力，抽取关键要素进行动态汇总，通过大模型对自然语言描述的强大理解能力、上下文的逻辑关系及语境分析判断能力，自动识别心情状态，并关联产生心情波动的关键因素，实现人物画像分析及关键特征刻画，对社区矫正对象的犯罪成因、家庭情况、经济状况、行为情况、心理状况、社会关系等多维度特征进行全貌展示。大模型可以将人员分析结果与方案措施、社区矫正知识库进行关联并实现智能重组，自动生成具有针对性

的个性化矫正方案，并量化形成措施清单，向工作人员智能推送工作清单，向矫正对象智能推送矫正清单。

3.2 预期达到的技术目标

①矫正方案生成效率：实现矫正对象多维度数据输入后，10 秒内输出个性化矫正方案（含心理干预、技能培训、监管措施建议等）。

②个性化适配能力：覆盖 90% 以上矫正对象特征维度（犯罪成因、工作、家庭、心理、社会关系等），为矫正对象提供“一人一策”的智能化矫正方案，提高监管针对性、提升教育转化效率；

3.3 核心技术来源

AI 大模型基座：基于“通义千问”大模型进行社区矫正业务领域微调，融合浙江省社区矫正历史案例库；

多模态行为建模：计算机视觉、自然语言处理、时空轨迹分析技术栈集成。

通过自然语言处理（NLP）解析矫正对象电话核查通话记录、心理评估报告，识别情绪波动与潜在风险。

动态措施优化：强化场景模型训练，嵌入社区矫正专家经验规则，建立社区矫正专题知识库并充分利用，实现监管措施、心理辅导、技能培训等干预措施的动态适配。

3.4 实现路径

3.4.1 阶段 1：数据融合与知识构建

①多源数据接入：对接司法矫正管理系统、多跨业务协同系统、电话核查系统、心理矫治系统、心情日记系统、IRS 数据申请平台、民政帮扶数据，构建矫正对象全景画像标签体系（含 20+ 核心维度）。

②知识库构建：利用向量化数据库存储社区矫正相关的法律法规、政策文件、业务规范文件、典型案例、社会资源等，通过对知识进行分片处理、并利用模型能力将分片处理后的内容转化成高维向量进行存储，实现文件内容向量化，便于社区矫正场景模型精准引用。

3.4.2 阶段 2：模型训练与验证

大模型微调：使用模型微调技术，在社区矫正领域语料（法律法规、政策文件、业务规范文件、案例库）上微调生成式模型，确保法律条文、业务规范引用准确率 ≥95%。

3.4.3 阶段 3：模型集成与生成

①个体特征深度分析：建立数据分析模型，利用 AI 大模型实现画像精准分析，开发个体关键特征识别引擎，进一步提升画像特征的可识别性。

②个性化矫正方案生成引擎：开发规则引擎与 AI 大模型的混合决策，支持“AI 推荐—人工修正—反馈学习”闭环。

3.4.4 阶段 4：试点推广与迭代

①试点验证：选取 3 个区县试点，收集 500+ 矫正对象应用数据，优化模型偏差。

②全省推广：通过“一地创新、全省共享”机制，覆盖全省 90% 以上司法所。

4 总结

在人工智能技术的不断深化的背景下，司法行政领域越来越多地应用到了垂类大模型。随着私有化部署模式的推广让司法系统对数据隐私、安全的高要求得到了满足，且能够自主掌控核心信息资源。采取多元化技术路径的探索，打造与司法业务情境需求相符的模型架构，可以为海量文本信息的处理以及复杂理解提供了可靠支撑。并且定制部署局域网让整体系统响应效率以及稳定性能得到大幅提升，让各部门间得以高效共享信息资源且开展安全协同工作，加快了司法行政的数字化转型进程 [5]。

在实际应用过程中，垂类大模型能够有效辅助社区矫正等司法行政重要工作的推进，凭借其深度语义分析和智能推理，让个案管理以及行为监控流程得到规范，实现执法效率以及精准程度的提升。不仅如此，模型技术应用于低空安全保证领域可以动态监测关键区域情况，及时发出风险预警，确保该区域管理的智能化以及安全的可视化，综上可知垂类大模型具备良好的场景适应性和业务融合能力，能够满足司法行政多层次、多样化的服务需求。

参考文献

[1] 崔爽.人工智能:发展和治理“两手抓”[J].中国科技财富, 2024(2):25-26.

[2] 吴昊,郑军.通用人工智能参与行政决策的功能,问题与优化[J].中国科技论坛, 2025(2):107-116.

[3] 许一云,高星星.浅析人工智能在行政领域的应用及其风险规制[J].人民法治, 2020(19):4.

[4] 张恩典.人工智能算法决策对行政法治的挑战及制度因应[J].行政法学研究, 2020(4):12.

[5] 梁健.人工智能运用于社会公共行政管理创新的优势,领域与路径探析[J].兰州学刊, 2024(3):85-96.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6596

Research on strategies to improve the efficiency of transformation of scientific and technological achievements enabled by artificial intelligence

Xin Xiao

Construction Comprehensive Survey, Research and Design Institute Co., Ltd., Beijing, 100007, China

Abstract

Artificial intelligence (AI) is advancing rapidly, profoundly influencing the pathways and efficiency of technology transfer, and becoming a core driver for the integration and development of technology and the economy. By leveraging AI technologies such as big data insights, knowledge graph construction, and natural language processing, the efficiency and accuracy of key stages like outcome mining, technology matching, and market forecasting can be significantly enhanced. To address the practical challenges of 'difficult implementation, slow progress, and low efficiency' in technology transfer, the integrated application of AI technology is employed to analyze multiple dimensions, including the matching of supply and demand for outcomes, technical evaluation mechanisms, platform construction, and policy environments. This aims to explore new pathways for the efficient transformation of scientific and technological achievements and to provide practical strategies and support for building an intelligent and precise ecosystem for technology transfer.

Keywords

artificial intelligence; scientific and technological achievements; transformation efficiency; empowerment strategy; improvement path

人工智能赋能的科技成果转化效率提升策略研究

辛肖

建设综合勘察研究设计院有限公司，中国 · 北京 100007

摘　要

人工智能迅猛前进，正深刻影响科技成果转化的路径及效率，成为助力技术经济达成融合发展的核心驱动力。以大数据洞察、知识图谱构建、自然语言处理等AI技术手段为依托，可以在成果挖掘、技术匹配、市场预测等关键阶段提升工作效率与精度。针对科技成果转化时“难达成、落地滞、效率低下”的实际困境，配合人工智能技术的一体化运用，从成果供需匹配、技术评价机制、平台构建与政策环境等多维度展开分析，以期探索科技成果高效转化的新路径，给构建起智能化、精准化的科技成果转化生态体系提供切实可行的策略与路径支撑。

关键词

人工智能；科技成果；转化效率；赋能策略；提升路径

1 引言

伴随人工智能技术的普遍运用，科技创新实现从“实验室”到“产业化”转化的效能，成为衡量科技强国的关键指标。然而，于科技成果的实际转化过程之际，依旧处在信息不对称、评价体系跟不上、对接机制不健全等问题中。人工智能技术介入成果的辨别、价值的评估、资源的匹配以及转化运营等事宜，为冲破传统困境给予了技术后盾与创新出路。本文章从人工智能技术跟科技成果转化融合的现实情形着手，全面剖析其赋能途径与实践成效，给出一套有现实操作意义的提升方略，目的为促进科技成果转化体系更加智能、高效且协同地发展下去。

2 人工智能对科技成果转化效率提升的现实基础

科技成果转化作为串联科技创新与经济发展的要害环节，面临诸如信息不对称、供需关系错位、评价机制发展滞后、资源配置效能低下等多重困境，让大量科研成果“沉在实验室、丧于中试线”。传统转化模式凭借人工筛选以及线下对接形式，难以适配成果渐趋复杂、产业迭代加速的实际状况。在此背景下，人工智能技术的迅猛进展为科技成果的转化增添了新的动力 [1]。

人工智能在信息检索以及成果筛选环节，高效性体现

【作者简介】辛肖（1985–），女，中国安徽宿州人，本科，工程师，从事科技管理、科研管理、项目管理研究。

得很明显，且于成果价值的考量、商业潜力的预测、技术成熟度的分析等方面起到核心作用。特别是在构建智能推荐的架构与撮合机制上，AI 能依据以往数据、产业演进趋势以及语义匹配模型，精准契合企业需求与科研成果，极大压缩转化周期。同时，由人工智能赋能的成果管理平台与智能中台体系，为成果流转在数据支撑及流程保障上予以提供。

3 基于人工智能的科技成果转化效率提升策略

3.1 建立 AI 驱动的科技成果智能识别与筛选机制

在科技成果转化的起始阶段，成果的识别筛选，乃是确保后续转化顺利成功的前提。传统的人工识别方法一般效率偏低、主观性较强，面对数量极为庞大且分散的科研成果资源，较难开展全面又精准的梳理。依靠人工智能技术，这里找到了突破口。以构建标准化的数据接入接口为途径，结合如文本语义分析、图像识别以及图神经网络等的算法模型，可以对来源不一、格式多样的科技成果进行高效集成与智能归类。AI 系统有本事自动提取关键技术要点、应用领域及潜在价值，筛选出拥有转化潜力的核心成果，大幅增进初筛的效率水平。

采用知识图谱跟本体搭建方法，可达成科研成果彼此间语义关系的建模与逻辑联通，为识别成果间的关联性给予支持。例如，同一技术路径下的专利、项目和论文等多项成果，可借由 AI 系统自动聚类，实现对技术链条的完整辨认。依托自然语言处理（NLP）相关技术，能实现对科研成果文本的透彻理解与智能化标注，给后续匹配及评估搭建起数据基础。打造 AI 驱动下的成果识别筛选机制，可显著提升工作成效，更能强化转化工作的前瞻性及系统性，乃搭建智能化成果转化体系的关键开端 [2]。

3.2 构建基于人工智能的成果价值智能评估体系

成果价值评估——科技成果转化过程的关键所在，直接关乎成果是否具备推广的潜质以及之后商业运作的前景。传统的评估手段往往依靠专家的主观评判，存在标准不相符、时间周期长、结果不稳定等问题。采用人工智能技术构建成果价值评估架构，不仅可提升评估在科学性和效率方面的水平，进而实现评价进程在客观性、数据化及可追溯方面的要求。

依靠多维数据的整合，AI 可搭建起包含诸如技术成熟度、市场适应性、产业契合度、知识产权强度、潜在收益预估等多项指标的综合评估模型。依靠机器学习以及深度学习的算法，可以对既往转化案例实施训练，辨别出其中的成功特性和失败缘由，缔造动态优化的价值考核模型。基于这一基础上，人工智能也能助力预估某成果的商业化潜力与未来市场容量，为成果实现转化提供量化决策支撑。

采用自然语言处理技术来分析专利文本、研究报告与政策方面的文献，AI 系统可识别成果在技术层面的独特属性与可替代程度，由此提升评估结果的准确性。伴随数据持续积累起来、模型持续优化下去，该体系还可达成成果评估的动态更新以及风险预警，为成果转化的全阶段给予支持。构建依托 AI 手段的成果价值智能评估系统，为科技成果从“可供转化阶段”进入“值得转化阶段”提供关键技术支持。

3.3 打造科技成果与需求智能匹配平台

科技成果转化是否达成目标，其关键之处是成果跟产业需求能否精准契合。成果供给跟企业需求之间，信息呈现严重不对称，造成科研“成果无价值体现”与企业“有需无对应技术”的双重困局。依托人工智能搭建的智能匹配系统，能成功冲破这一难关，达成技术供给侧与产业需求侧的高效连通和智能牵合 [3]。

AI 匹配平台的要核是多维语义领悟与智能式推荐技术。平台可依靠自然语言处理跟语义建模操作，精确弄懂企业需求表述里的技术关键词跟应用场景，接着与科研成果达成高水平语义对接。依托知识图谱与产业链数据实施分析，平台还能对成果所处的技术成熟阶段。可应用的领域以及上下游协同情形作出判断，保障所推荐成果存在现实转化的潜在机会。此外，AI 可根据地区产业的构成、政策方向与资金保障情况，向最有成果转化意向的目标用户进行成果推送。

AI 匹配平台应配备针对用户进行画像的系统与行为学习能力，能够不断跟进企业关注点以及科研机构发布成果特征的相应变化，优化平台的“学习性”与“适应性”。凭借动态调整推荐模式，平台可逐步改进匹配方案，强化匹配命中率及合作转化成功率。

3.4 进一步强化人工智能赋能下的科技成果转化运营机制

科技成果实现成功转化，并非仅到供需匹配为止，更关乎后续运营机制是否达成科学、顺畅与可控的局面。传统转化运营多靠人工协作以及线下的作业流程，效率低下、潜藏风险高、数据反馈滞后。采用人工智能，给转化运营搭建起强大的技术框架，从流程体系设计、风险防范把控到效果审定，AI 皆可实现智能调度与辅助决策的功能，构建兼具高效、智能与可信特质的运营机制。

在成果转化的实施阶段里，人工智能可扶持构建“数字孪生”系统，开展针对转化路径的虚拟仿真及情景预演，助力科研人员与企业预先推演成果落地的关键流程及潜在风险，做到“成果未转先检测”。AI 同样能嵌入合同管理跟知识产权保护当中，依靠智能合约、区块链技术，保障交易行为能追溯且数据处于安全状态，减少知识外泄与法律争端的潜在风险。

AI 还可对成果转化进程中的数据实施实时监控与反馈剖析，产出可视化呈现的运营报告，给政策制定者与平台管理者提供数据方面的支撑。

4 完善科技成果转化的政策支持与制度环境

4.1 制度层面：推动 AI 赋能转化机制的制度性嵌入

科技成果转化借助人工智能赋能，依靠制度环境形成有力支撑。尽管 AI 技术已在诸如科技成果识别、评估、匹

配等方面普遍应用，不过大多仍处在局部试行及平台自主搭建阶段，尚无系统性制度嵌入及规范性的引导，致使 AI 于成果转化里的效用未能得以系统施展。若想从根本上增强科技成果转化的效率，必须着力推进相关制度体系的更新与重组，使 AI 技术应用真实地融入国家及地方科技成果转化的顶层设计体系 [4]。

应修订像《促进科技成果转化法》《科技进步法》这类现有的法律法规，明确赋予人工智能在科技成果评估、交易、运营与监管中参与的合法身份，为 AI 技术于成果转化全流程里的深入应用筑牢法律根基。应拟定与 AI 有关的成果数据收集、归类、保存及共享准则，拆除科研机构、高校跟企业之间的数据藩篱，构建成果数据统一的接入端口与共享体系。

应当推动设立科技成果转化事宜中的“算法透明与责任厘清”制度，保证人工智能系统在推荐、评估和交易进程中的公正性、公开性与可追究性。制度层面的体系化嵌入，既给 AI 技术构筑应用平台，还可强化全社会对智能转化机制的信任以及参与的动力，是搭建智能化转化生态体系的关键支撑。

4.2 平台层面：打造区域性 AI 科技成果转化示范基地

科技成果转化若要落地，就必须依托功能完善、高效运作的平台体系。鉴于人工智能技术深度介入成果转化的现实背景，各地需将自身产业基础与科技资源方面优势结合，踊跃创建区域性 AI 科技成果转化标杆基地，构建起“技术 - 平台 - 产业”实现高度协同的智能化转化架构。这些示范基地绝非仅是技术应用的前沿要地，更是开展机制革新与政策整合的关键试验区。

区域性 AI 转化平台应构建起以大数据中心、AI 整合系统、价值评估引擎以及知识产权服务单元为核心的智慧中台，合并科研院所、高等院校、企业、金融单位等多元主体的资源，促成科研成果从“实验室”迈向“生产线”的智能流通。同时，可借助建设起“智能化成果库”，不断把区域内外的高价值科技成果加以汇聚，进而与地方产业图谱深度契合，助推技术与需求实现精准契合。

示范基地应扛起机制试验功能这一担子，以探索 AI 辅助成果价值的定价机制、搭建涉及 AI 的成果交易信用体系、试点基于区块链的成果确权机制等为例，以点的突破带动全国范围内制度与平台的创新跃升。依靠搭建若干有着核心带动功能的 AI 科技成果转化示范平台，有利于突破科技成果转化的“最后一公里”瓶颈，增强区域科技转化的成效，且可于更宽泛范畴推动科技与经济深度结合 [5]。

4.3 人才层面：培养“懂技术 + 懂市场 + 懂 AI”的复合型人才

人才作为决定性因素，关乎科技成果能否成功转化。传统成果转化阶段，明显存在着人才衔接的断层：技术人员在科研上驾轻就熟，却对市场茫然无知，企业人士虽熟悉产业，却对技术逻辑理解欠佳，中介人员多停留在带有行政色彩的撮合层面。鉴于人工智能深度赋能转化体系的现实背景，更迫切地需要一批具备“技术素养、市场意识跟 AI 思维”三者合一的复合型人才，充当智能转化链路中的关键支撑。

科研机构与高校应进一步推进交叉学科建设进程，推动“技术 + 管理 + 人工智能”融合模式下的课程体系创新，兴办科技成果转化与 AI 相融合的复合专业，打造既拥有科研能力又明晰产业逻辑的专业转化人才。要创建跟企业、高新园区联合培养的体系，经由实训基地搭建、项目实际践行、成果接洽等做法，夯实学生的实际操作本领，降低人才“从实验室到市场”过渡所需的周期。

5 结语

人工智能正在从技术工具转变为推动科技成果转化效率系统提升的“核心引擎”。其在成果辨识、价值衡量、资源匹配和平台运转等方面，显示出强大的赋能功效，若切实达成成果“高效转化、精准达成”，要制度同技术协同攻坚、平台与生态联动营造。未来，构建以人工智能为底座的智能化科技成果转化体系，将成为推动我国科技创新与产业融合高质量发展的关键路径。

参考文献

[1] 张凯莹,刘一泓.提升科技成果转化效能的创新矩阵构建研究[J].科技创业月刊,2025,38(05):41-46.

[2] 吴薇,牛永浩.人工智能赋能农业科技成果转化的方式与思路[J].百科知识,2025(12):43-44.

[3] 张馨月,李慧芳,孔繁利.科技成果转化驱动区域经济发展效应分析及改进策略[J].时代经贸,2025,22(04):147-150.

[4] 李清清.人工智能环境下云南科技成果转移转化的对策研究[J].产业科技创新,2024,6(03):30-32.

[5] 邢博闻,张嫣然,许竞翔.人工智能产业科技成果转化机制研究[J].华东科技,2023(08):116-119.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6597

Study on risk analysis and quality control measures of drug testing

Jinyun Ruan

Zhaotong Testing Institute, Zhaotong, Yunnan, 657000, China

Abstract

The quality of medicines is crucial for public medication safety, and drug testing is a critical safeguard for ensuring this quality. This paper systematically analyzes the various risk factors in the drug testing process from the perspectives of risk management and quality control. These factors include human factors, instrument and equipment issues, methodological challenges, sample-related problems, and environmental conditions. It also proposes a series of innovative quality control measures, such as personnel training and assessment, monitoring and early warning systems for instruments and equipment, dynamic adjustment of testing environments, traceability of experimental materials, validation of testing methods, and the identification and correction of key control points. Additionally, the paper discusses the importance of establishing a comprehensive risk management and quality control system for drug testing, which includes a risk management system, a quality control system, an information management system, and a continuous improvement mechanism.

Keywords

drug inspection; risk factors; quality control; risk management; management system

药品检验的风险分析及质量控制措施研究

阮金云

昭通市检验检测院，中国 · 云南 昭通 657000

摘　要

药品质量关系到公众用药安全，而药品检验又是确保药品质量的重要保障。本文从风险管理和质量控制两个维度，系统分析了药品检验过程中存在的各种风险因素，包括人为因素、仪器设备因素、方法学因素、样品因素和环境因素，并提出了一系列创新性的质量控制措施。这些措施涵盖了人员培训与考核、仪器设备监测预警、检验环境动态调节、实验物料质量追溯、检验方法确认验证、关键控制点与纠偏等多个方面。同时，本文还探讨了构建完整的药品检验风险管理与质量控制体系的必要性，包括风险管理体系、质量控制体系、信息管理系统和持续改进机制。

关键词

药品检验；风险因素；质量控制；风险管理；管理体系

1 引言

药品质量与人民群众生命健康息息相关，而药品检验作为确保药品质量的最后一道防线，承担着重大责任。然而，药品检验本身就是一个极其复杂且容易受多种因素干扰的过程，存在较多风险点。国家药品监督管理局发布的《药品质量抽查检验管理办法》第三十条规定药品检验机构应当具备健全的质量管理体系；应当加强检验人员、仪器设备、实验物料、检测环境等质量要素的管理，强化检验质量过程控制；做到原始记录及时、准确、真实、完整，保证检验结果准确可追溯 [1]。因此，单一的质量控制措施难以应对药品检验的复杂性，构建系统化的风险管理与质量控制体系势在必行。如何有效管理检验风险，提高检验质量，是药品检验机构面临的重大课题。

2 药品检验中的风险因素分析

2.1 人为因素

人是药品检验活动的主体，检验人员的知识技能、责任心、心理状态等直接决定着检验质量，一方面，检验人员专业能力不足，缺乏必要的教育培训，可能导致检验数据不准确、不可靠；另一方面，检验人员责任心不强，工作不认真、不仔细，违反操作规程，也会带来较大的检验风险 [2]；此外，检验人员如果长期处于高压、疲劳状态，注意力不集中，也可能出现检验差错。

2.2 仪器设备因素

药品检验依赖于大量精密仪器设备，仪器设备的性能、状态直接影响检验结果的准确性和可靠性，仪器设备选型不

【作者简介】阮金云（1990–），男，中国云南昭通人，本科，主管药师，从事质量管理体系、药品检验研究。

当，与检测需求不匹配，可能导致检出限、灵敏度等不能满足要求，仪器设备缺乏定期校准、检定，运行中出现波动，也会影响检验数据的准确性 [3]。特别是一些老旧仪器设备，故障率高，功能逐渐退化，如不能及时更新替代，将成为检验质量的重大隐患，仪器设备因素是保障检验数据质量关键因素之一，是必须高度重视的风险点。

2.3 方法学因素

检验方法是药品检验的核心，科学、适用的检验方法是确保检验质量的基础。但检验方法本身也可能存在一些局限和风险，比如检验方法的专属性不够强，选择性、特异性差，容易受到基质和杂质的干扰，检验方法的重现性不好，结果不够稳定，误差较大，特别是一些新的检验技术和方法，缺乏必要的确认和验证，盲目采用，也可能带来较大风险，方法学因素对检验结果的准确性和可靠性至关重要。

2.4 样品因素

药品样品的特性和质量直接影响检验过程的顺利进行和检验结果的可靠性。样品如果混有杂质，纯度不符合要求，基质效应明显，可能导致检验数据出现偏差，样品的均一性差，颗粒大小不均匀，溶解性不好，也会对检验操作和结果产生干扰，样品保存不当，存在污染、变质等问题，检验时样品不具代表性、存储和运输样品条件不符合要求、样品数量不满足检测和复检需求等也可能导致检验结果失真 [4]。

2.5 环境因素

药品检验对环境条件有很高的要求，环境因素通过影响检验过程，进而影响检验数据的准确性和精密度，比如温度、湿度发生剧烈波动，超出仪器设备和检验方法的适用范围，可能改变样品性状，干扰检测信号，检验环境空气尘粒、微生物数量超标，容易污染样品和设备，影响检验结果。此外，检验环境的噪音、振动过大，紫外线、射线等辐射强度异常，也会对仪器运行和人员操作产生不利影响。环境因素对检验质量的影响不能低估。

3 药品检验质量控制的创新性措施

3.1 智能化的人员培训与考核系统设计

药品检验质量管理体系中，检验人员素质是最关键的因素之一，建立全方位、多层次、常态化的人员培训与考核机制势在必行，这一机制应覆盖检验活动全过程，针对不同岗位、不同层级人员，提供个性化、精准化的培养方案，培训内容的设计要全面均衡，在夯实专业技能的同时，更要注重职业道德、质量意识、安全责任等内在素质的塑造，培训形式要与时俱进，积极融入信息化智能化元素 [4]，线上线下相结合，虚拟仿真与现场实操交互进行，让培训更灵活、更高效、更精准、更有趣。同时倡导发扬传统“传、帮、带”精神以老带新。

建立起动态更新的员工能力档案数据库，依托大数据分析，因材施教，有的放矢，对每位员工实施个性化培养，在考核环节，人工智能技术的应用可以有效解决考核的客观性和公正性问题，通过人脸识别、情绪分析、生物特征采集等技术，智能判别员工状态，全面评估其能力素质，将主观因素和人为干扰降到最低，严格规范的培训考核，可持续提升检验人员的业务水平和职业素养，将人为失误的风险扼杀在萌芽状态，这是从源头保障药品检验质量的治本之策。

3.2 基于物联网的仪器设备实时监测与预警机制

仪器设备是药品检验的重要硬件，应当实现全生命周期的质量管理，利用物联网技术，在关键设备上安装传感器，实时采集设备运行参数，建立设备运行档案，分析设备性能趋势，及时发现异常波动，预判可能出现的风险隐患，针对老旧设备，通过数据分析评估剩余使用寿命，制定更新替代计划。同时，优化设备管理流程，细化操作规程，严格执行使用、维护、校准 / 检定、期间核查等各环节要求，最大限度减少人为失误。通过实时监测与预警，确保设备稳定运行。

3.3 检验环境多参数动态控制与调节策略

检验环境对检验质量具有重要影响，应当实施精细化环境管理，针对温湿度、洁净度、噪音等多个参数，确定严格的控制限度，在检验场所部署多点监测传感器，对环境参数进行连续、动态监测，及时掌握变化趋势，建立环境异常报警与应急处置机制，出现超标情况及时启动应急预案。同时，优化空调净化系统，引入新型材料和技术，增强过滤、净化效果，必要时，可在局部区域增设辅助调节设备，对环境参数进行二次调节。通过多参数动态控制，提供稳定适宜合规的检验环境。

3.4 实验物料质量追溯体系与标准物质期间核查新方法

实验物料，尤其是标准物质，对检验结果的准确性和可靠性影响重大，应当着力构建实验物料全流程质量追溯体系，实现来源可查、去向可追。建立物料供应商评价机制，从源头严把物料质量关。同时，创新标准物质期间核查方法，缩短核查周期，提高核查频次。充分利用色谱 / 光谱联用等新技术，对标准物质纯度、均一性进行深入表征，研究基于数据分析的标准物质稳定性评估新模型，提前发现质量异常，通过可追溯、可核查，确保物料质量满足要求。

3.5 检验方法确认、验证及不确定度评估

检验检测方法包括标准方法和非标准方法，应当优先使用标准方法。使用标准方法前应当进行验证；使用非标准方法前，应当先对方法进行确认，再验证 [5]。对新引入的检验方法，必须严格遵循方法学确认与验证的一般要求，制定周密细致的确认与验证方案，采用标准物质或已知样品，对方法的专属性、重复性、精密度、线性、检出限、定量限等各项性能指标进行全面系统的考察，并运用统计学方法对结果进行分析论证。在方法确认与验证过程中，针对具体检验对象的特点，如基质复杂程度、干扰因素种类、不确定度来源等，还应开展深入细致的分析评估，制定有针对性的质量

控制措施，确保检验方法真正适用，即便是已确认的检验方法，也应根据质量回顾情况，定期开展再验证，持续评估方法的适用性和稳健性。

与此同时，应紧跟检验技术发展前沿，主动开展高效、快速、绿色新方法的研究，加强新技术新方法的引进吸收，并做好必要的确认验证，不断拓宽检验手段，优化检验方法，为提高检验质量和效率提供有力的技术保障。

4 药品检验风险管理与质量控制体系的构建

4.1 风险管理体系

构建系统化的风险管理体系是药品检验质量控制的重要基石，首先，要建立健全的风险管理组织架构，明确风险管理部门和人员职责，形成“主要负责人—管理者代表—各部门负责人—检验人员”的多层级管理格局；其次，要构建覆盖药品检验全过程的风险管理流程。通过风险识别、风险分析、风险评估、风险控制、风险报告、风险沟通等环节，对检验过程中的各类风险实施系统管理；增强风险识别的敏感性和全面性。运用大数据分析，对海量风险信息进行深度挖掘，提高风险研判能力。

4.2 质量控制体系

构筑严密完善的质量控制体系是确保药品检验质量的治本之策，一是要制定科学合理的质量控制方案，对检验的每一个环节、每一个参数，都要有清晰、量化、可考核的控制要求。同时，质控方案要定期评估，持续改进；二是要建立分层分级的质控网络。按照“自控—互控—他控”的模式，形成实验室自控、科室互控、质管部门监控的多层级管控格局；三是要建立常态化的质量考核机制，制定质量考核指标体系，将过程指标和结果指标相结合，将定量考核和定性评价相结合，质控实施情况要纳入绩效考评；四是要注重质控的系统集成。将质量控制与仪器设备、检验环境、人员管理、信息系统等有机整合，实现质控工作的全面融合与协同联动。

4.3 信息管理系统

信息化是推动药品检验质量提升的重要手段，要构建一体化的药品检验信息管理系统，实现对检验全过程的信息化管理，系统功能应涵盖样品管理、仪器设备管理、检验过程控制、数据处理分析、报告生成审核等各个环节。同时，要加强系统集成，将 LIMS 系统与仪器设备、条码管理、环境监测等其他系统互联互通，实现信息高度共享，引入电子批记录、审计追踪、电子签名等功能，确保数据真实、可追溯，注重系统安全，严格权限管理和访问控制，防止数据泄露。

4.4 持续改进机制

质量提升没有止境，必须建立持续改进机制。要树立质量第一的意识，营造全员参与、持续改进的质量文化氛围，定期开展内审、管理评审，系统分析质量现状，查找改进机会，鼓励质量创新，完善质量改进提案制度，调动全员参与质量改进的积极性，加强质量成本管理，从防患未然的角度，推动资源向质量控制前移，建立 QC 小组，针对关键共性质量问题，开展专题改进。善于总结质量经验教训，传承优秀质量管理实践。

5 结语

药品安全事关人民生命健康，责任重于泰山。药检机构唯有锚定“四个最严”，树立质量至上理念，将风险防控措施落实到检验全过程、各环节，构建起严密完善的质量管理体系，运用先进科技手段赋能药检高质量发展，才能筑牢人民群众用药安全的防火墙。新时代赋予药品检验崇高而光荣的使命，在守护药品安全、保障人民健康的道路上砥砺奋进，以实际行动诠释“四个最严”要求，用一流业绩向党和人民交出满意答卷。

参考文献

[1] 国家药品监督管理局.国家药监局关于印发《药品质量抽查检验管理办法》的通知（国药监药管〔2019〕34 号）[EB/OL].（2019-08-19）.

[2] 窦红允，武红娜，李国玲，等. 药品检验的风险分析及质量控制措施 [J]. 中国当代医药， 2025， 32（02）: 130-134.

[3] 周绍华，栾洁，薛萍. 药品检验设备质量管理中存在的问题和措施探讨 [J]. 实验室检测， 2024， 2（11）: 99-101.

[4] 潘萍，雷倩，孔英戈. 浅析基层药品检验机构的样品管理 [J]. 中国药物经济学， 2024， 19（6）: 108-111.

[5] 国家市场监督管理总局.市场监管总局关于发布《检验检测机构资质认定评审准则》的公告〔2023〕21 号）[EB/OL].（2023-5-30）[2023-12-01].

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6598

Methods and quality control measures for concrete pavement laying on municipal roads

Zhao Huang

Yunnan Free Trade Zone Construction Engineering Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

The effective implementation of concrete pavement spreading work during municipal road construction can better extend the service life of municipal roads and even ensure traffic safety after their use. It must be given attention and importance. By optimizing technical control and quality control measures, the construction quality and standards can be improved. This article focuses on this issue, mainly discussing the technical points that need attention during the concrete pavement spreading process in municipal road construction and how to optimize quality control measures to ensure the construction quality of concrete pavement spreading in municipal road construction. It is hoped that through the discussion and analysis in this article, more references and insights can be provided for relevant construction units, ensuring that the construction quality of concrete pavement spreading in municipal road construction meets the standards through the optimization of technical control and quality control measures.

Keywords

municipal road engineering; concrete pavement; paving operations; quality control measures

市政道路施工的混凝土路面摊铺方法与质控措施

黄钊

云南自由贸易试验区建设工程有限公司，中国 · 云南 昆明 650000

摘　要

市政道路施工混凝土路面摊铺作业的有效落实可以更好地延长市政道路的使用寿命，甚至保障道路投入使用以后的交通安全，必须引起关注和重视，通过技术管控及质控措施的有效优化提高施工质量和施工水准，本篇文章也将目光集中于此，主要讨论了在市政道路施工混凝土路面摊铺作业的过程中需要注意的技术要点以及如何优化质控措施来保障市政道路施工混凝土路面摊铺的施工质量，希望通过本篇文章的探讨和分析可以为相关施工单位提供更多的参考和借鉴，通过技术管控和质控措施的有效优化来确保市政道路施工混凝土路面摊铺施工质量达标。

关键词

市政道路工程；混凝土路面；摊铺作业；质控措施

1 引言

经济社会的迅速发展带动了交通事业的发展，现阶段市政道路施工规模越来越大、工程建设数量越来越多，而在市政道路施工中混凝土路面摊铺是十分重要的作业环节，对于道路施工质量、投入使用以后的使用寿命及交通安全都会起到较大的影响，必须明确其技术要点并完善质控措施

【作者简介】黄钊（1983–），男，中国河南信阳人，本科，工程师、市政公用工程高级工程师、建筑工程一级建造师、市政公用工程一级建造师、民航机场一级建造师、一级注册消防工程师，从事市政公用工程、道路工程、生态绿地修复、园林绿化、环保工程、给排水污水管网、房建室外公共配套等研究。

2 市政道路施工混凝土路面摊铺方法

2.1 施工准备

做好施工准备工作可以为混凝土路面摊铺作业的开展奠定良好的基础和保障，确保摊铺作业能够顺利推进有序开展，而在准备工作落实的过程中可以抓住如下几个关键要点。

首先，需做好原材料的准备工作。根据施工设计图纸及施工现场实际情况明确原料的类型及不同原料的质量要求，做好原料的采购、储存及检验工作。需尤为引起关注和重视的则是紧抓水泥、粗集料、细节料等相应关键原料，加强原料控制，如表 1 所示。

其次，需要做好仪器设备的配置工作，这对于施工效率、施工质量甚至于施工安全都会产生较大的影响，而在设备配置上也需要严格按照施工设计图纸明确在施工建设过程中混凝土搅拌、运输、摊铺、振捣等相应机械设备的型号

要求及数量要求，通过租赁、购买等多种方式确保仪器设备及时进场。并通过维修检验工作的落实确保仪器设备能够正常使用。

表 1 原料准备要点

原料准备要点	
水泥	强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥
粗集料	最大粒径不应超过 40mm，针片状颗粒含量应不大于 15%
细集料	中砂或粗砂，细度模数应在 2.5 以上，含泥量不超过 3%

最后，需通过基层验收与处理工作的开展为后续混凝土路面摊铺提供打下坚实基础。相关工作人员需从基层的平整度、高程、宽度、横坡等多个维度来进行质量验收和分析，判断其是否符合设计要求，在保证基层坚实且无松散、起皮、裂缝等相应问题以后才可以展开后续作业，若在检验的过程中发现基层存在缺陷，要及时针对性的处理。此外，若基层验收合格可通过洒水湿润的方式以更好地保障后续混凝土面层与基层的粘接力，但需控制洒水量，避免表面积水的问题出现。

2.2 混凝土搅拌与运输

首先，需要做好配合比设计，这对于混凝土的性能、强度会起到至关重要的影响，而在配合比设计的过程中应当紧抓水胶比、砂率等相应关键参数分析混凝土的和易性、强度、抗冻及抗渗性能是否达标。同时在混凝土拌合比例调整的过程中还应当结合施工区域的气候特点和具体问题具体分析，对外加剂的掺加体量和种类做出适当调节，以此来保证混凝土的强度和性能。

其次，在混凝土拌合期间应当严格按照前期的设计配比来落实拌合工作，明确不同原料的投入顺序和投入体量。为更好地保障拌合的规范性，确保混凝土的强度及性能，在搅拌的过程中需引入专业的计量设备并且对其进行校准，保障计量设备的准确性。在此基础之上根据搅拌机的类型、混凝土的塌落度对搅拌时间作出适当调节。若在现场观察的过程中发现混凝土出现离析、塌落度不符合标准的问题，应当及时做好记录并分析相应的解决对策，对配比数据做出适当调整。

最后，在混凝土运输期间应当引入专用搅拌运输车，保障罐体能够持续且缓慢地转动，避免混凝土离析问题的出现，同时应当控制运输时间和运输距离，避免运输时间过长出现混凝土离析问题。

2.3 摊铺作业

在摊铺作业的过程中需具体问题具体分析，科学选择摊铺形式。例如现阶段较为常见的则是滑模式摊铺机摊铺和轨道式摊铺机摊铺。从滑模式摊铺机摊铺的角度来分析，该项技术具有平整度好、工作效率高的优势，在摊铺前相关工作人员应当结合施工设计标准明确摊铺机的高程及坡度，而在摊铺作业的过程中应当将摊铺机的行驶速度控制在 1~2m/min，保证速度均匀，避免出现忽快忽慢或中途停顿的问题。在此之后检查混凝土的摊薄厚度和密实度是否达标，确保路面的平整度和密实度。

在轨道式摊铺机摊铺作业的过程中应当提前安装轨道并保障轨道的高程、平整度符合标准要求，在保障轨道安装牢固以后展开摊铺作业。在摊铺作业的过程中需通过振捣器、刮平板等相应装置的有效应用保证混凝土振捣密实、刮平，并及时清理轨道上的混凝土，确保摊铺机能够正常运行。在此基础之上需要控制摊铺速度，保证摊铺质量。

2.4 振捣与提浆

在摊铺作业结束以后相关工作人员应当落实振捣作业和提浆作业。首先，需引入插入式振捣棒，明确振捣棒的插入位置落实振捣作业。一般情况下可将振捣棒插入边角部位及钢筋预埋件周围区域。其插入深度应当视具体情况而定，可以将深度数值确定为下层混凝土 50~10mm 之间。其次，应当控制振捣时间，直至混凝土不再下沉、不再冒泡、表面泛浆，一般情况下振捣时间可以确定在 20~30s。再次，在振捣结束以后需要引入平板振捣器落实全面振捣作业。确保平面振捣器的重叠 10~20mm，振捣时间可以控制在 25~40s。最后，在振捣结束以后应当落实提浆及整平作业，引入振动梁缓慢、匀速移动，往返 2~3 遍以后保障混凝土表面均匀平整 [1]。

2.5 表面修整与拉毛

在振捣结束以后可落实刮平作业，避免表面出现的凹凸问题，在此之后引入木抹子落实搓压作业，更好地保障混凝土路面的平整度和密实度。在混凝土表面水分挥发以后可以引入铁抹子落实压光作业。一般情况下需要光 2~3 遍保障混凝土路面光滑平整，为了更好地提高路面的抗滑性能，保障汽车行驶安全，还可以进行拉毛处理并控制拉毛深度，将数值控制在 1~2cm。在拉毛作业的过程中应当保障拉毛均匀顺直、纹理深度符合要求。

3 混凝土路面摊铺质量控制措施

3.1 施工过程质量控制

为更好地保障施工质量，加强过程控制是十分必要的，需要明确不同环节的施工技术要点，抓住质量控制核心，如表 2 所示。

表 2 过程控制要点

过程控制要点	
测量放线	测量仪器校准保障测量精度
摊铺	摊铺机行驶速度、振捣器振捣频率、夯实板高度
混凝土强度	塌落度、和易性检测

首先，需加强测量放线的控制，在施工之前落实测量放线工作，明确路面的中心线、边线、高程可以为后续施工提供辅助，而在测量放线环节需通过测量仪器的校准来保障测量精度。

其次，需加强对摊铺工艺环节的控制和管理，这其中需尤为引起关注和重视的则是加强对摊铺机行驶速度、振捣器振捣频率、夯实板高度等相应关键参数进行质量控制和质量管理。同时需关注边角区域的质量问题，引入特殊振捣方式和处理措施，保障混凝土摊铺质量 [2]。

最后，在施工过程中需加强混凝土强度控制，定期落实混凝土的塌落度、和易性检测，确保混凝土的性能质量强度达标。

3.2 成品保护与养护质量控制

首先，在施工结束以后相关工作人员需严格按照规范要求来做好现场保护工作，可通过设置警示标识、封闭施工现场等多种方式避免行人或车辆进入进而影响混凝土凝结，对路面造成破坏和冲击。在混凝土强度达设计强度的 40% 以前需通过现场监管的方式避免路面上堆放重物或展开其他作业。

其次，在混凝土路面施工结束以后需及时落实养护工作，而在养护工作开展的过程中相关工作人员需坚持具体问题具体分析的原则，结合施工现场的实际情况和施工设计图纸来明确养护时间、养护要点、养护规范及养护措施。这就需要提前做好数据调查，了解施工质量验收标准、施工技术信息以及施工现场的气候信息，在此基础之上对养护方案作出适当调整，明确注意事项。

3.3 加强制度建设

市政路面施工所涉及到的施工环节相对较多，且环节与环节之间相互衔接相互影响，一旦某一个环节施工质量受到冲击，后续施工质量都会因此受到影响，无法达到质量验收标准，在这样的背景下施工质量管控所需要考量的要素相对较多，为更好地保障施工质量达标就必须建立完善的规章制度体系。而在规章制度体系建设的过程中需抓住如下几个关键要点做出优化和调整。

首先，需加强责任机制建设，明确不同施工部门施工工作人员需遵循的施工规范、施工标准、履行的施工责任，确保施工建设工作能够顺利推进、有序开展。在责任机制建设的过程中应当保障责任机制的精细化程度，将责任对标到个人、对标到具体的工作岗位。

其次，在施工建设期间需完善验收机制。一般情况下可引入三检制度，即在每一个施工环节结束以后需先由施工团队自行检验，根据质量验收标准、验收规范来落实验收工作，及时发现施工存在的质量问题，并分析相应的解决对策和处理方案，在施工团队自检结束以后需安排专业的质检人员进行验收，保证质检人员的独立性，进而确保验收结果的可靠性。最后则需要与监理单位进行沟通和交流，由监理单位派遣专业工作人员落实验收工作，通过多重检验的方式来及时发现施工质量问题，保障每一个环节的施工质量达标，进而确保整体施工质量达标。

最后，在规章制度建设的过程中可以通过建立现场监督机制的方式来加强对施工行为的规范，保障施工质量。而在现场监督机制建设的过程中可以引入视频监控系统、传感器技术等相应现代化技术，提高现场监控管理能力。相关工作人员只需要登录系统就可以了解施工现场的实际情况，及时发现施工现场存在的问题和不足，并分析相应的解决对策和处理方法，提高监督管控能力，配合奖惩机制的建设让相关工作人员在实践工作落实的过程中自觉规范施工行为，进而保障施工质量和施工效果 [3]。

4 结语

市政道路施工混凝土路面摊铺施工对于市政道路工程的施工质量及使用寿命和投入使用以后的交通安全都会产生较大的影响，加强技术控制和质量管控是十分必要的，必须引起关注和重视。相关单位可紧抓准备环节、混凝土拌合、运输、摊铺、振捣、表面修整与拉毛等相应关键要点加强技术管控，保障施工质量，在此之后可通过加强过程管理、完善规章制度等多种方式提高质量控制能力和控制效果，保障施工质量达标。

参考文献

[1] 赵帅.基于市政道路施工的混凝土路面摊铺技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(11):155-157

[2] 孟鑫.市政道路沥青混凝土路面施工技术要点与质量控制措施[J].汽车画刊,2025(04):242-244.

[3] 许朋飞.市政道路工程沥青混凝土路面摊铺与压实施工工艺研究[J].城市建筑,2025,22(04):210-212.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6599

Application and practice of single lamp control system for urban road lighting

Xiaoxiong Lei

Shenzhen Urban Appearance & Landscaping Affairs Center, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

This paper analyzes the operation status and existing problems of urban road lighting control system, puts forward the necessity of setting up a single lamp control system for street lights, and summarizes the application effects and practical experience of automatic monitoring, remote control and energy-saving management of single lamp control system. The street lamp single lamp control system solves the problems such as the inability to obtain the operation status of the street lamp single lamp in time, the neglect of the influence of harmonics and zero sequence current, the lack of real-time detection and early warning means of electrical circuits, the low efficiency of street lamp lighting rate inspection, and the lack of smart lighting cloud platform expansion and interface, and realizes the remote automatic control of road lighting, real-time detection and early warning of electrical circuits, energy-saving management and other functions, and achieves the purpose of convenient management and maintenance, rapid data upload, and reliable real-time early warning.

Keywords

road lighting; single light control; automatic monitoring; energy saving management

J 城市道路照明单灯控制系统的应用和实践

雷小雄

深圳市市容景观事务中心，中国 · 广东 深圳 518000

摘　要

本文通过分析城市道路照明控制系统运行现状及存在的问题，提出设置路灯单灯控制系统的必要性，并总结单灯控制系统自动监测、远程控制、节能管理等应用效果和实践经验。路灯单灯控制系统解决了路灯单灯运行状态无法及时获取、谐波及零序电流影响被忽视、电气线路实时检测和预警手段缺失、路灯亮灯率巡检效率不高、智慧照明云平台拓展与接口缺乏等问题，实现了道路照明远程自动控制、电气线路实时检测预警、节能管理等多种功能，达到了管理维护方便、数据上传迅速、实时预警可靠的目的。

关键词

道路照明；单灯控制；自动监测；节能管理

1 引言

城市道路照明设施及其附属设施主要包括灯杆、灯具、箱变、管线、环网柜等，数量众多，存量庞大，遍布于主次干道、大街小巷，是现代城市重要的基础设施，与百姓日常生活密切相关。道路照明设施安全运行状况，直接关系到城市公共安全和广大市民的切身利益，加强城市照明设施的维护管理，及时发现并整治漏电隐患，提高道路照明质量、促进能源节约，确保道路照明设施安全运行是现代城市管理的重要内容。近年来，随着电力线载波通信技术、传感器技术、自动控制技术、人工智能等科学技术的突飞猛进，单灯控制技术的出现标志着道路照明控制技术也进入新的里程碑时代。我们就部分道路照明实施单灯控制系统的实践开展积极探索，取得良好效果。

【作者简介】雷小雄（1965–），男，中国湖南衡阳人，本科，工程师，从事照明电气研究。

2 分析道路照明设施管控现状及存在的问题

经过深入分析现行道路照明控制系统运行现状，我们认为，目前道路照明控制系统主要存在以下问题或缺陷。

2.1 设施老化严重

道路照明控制设施一般伴随城市道路建设过程进行设计和安装，主要包括控制箱与单灯控制设备。控制箱主要由各种电器开关、交流接触器及保护设备等机械设备构成，这些机械装置随着时间的推移会逐渐达到寿命。设备年数较多，机械装置老化严重。

2.2 控制方式单一

部分道路照明采用时控仪控制，只是实现了每天的按线路进行开关灯，无法按照照明需求进行多种灵活控制。时

控的缺点显而易见：一是只能线路控制，无法进行单灯控制及调光；二是无法在特殊天气自动依据照度变化进行控制；三是无法在故障情况下进行故障隔离控制。

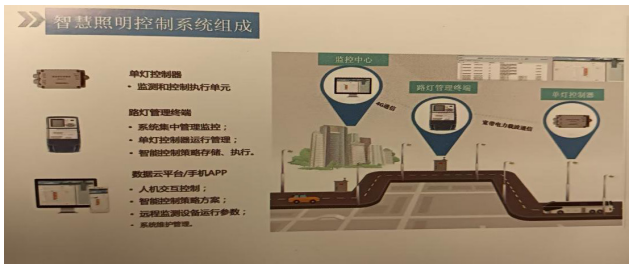


图 1 智慧照明控制系统组成

2.3 次谐波及零序电流影响被忽视

现有路灯灯具普遍使用的 LED 光源，采用开关电源控制，产生各种非线性谐波。由于 LED 采用统一调光、统一电源控制，开关电源会在同一时间，同一位置进行导通与截止，谐波的成分及时序严格同步，无法通过三相平衡进行抵消，会导致照明灯电源的 3 次谐波“谐振”。路灯灯线路的零序电流，多数零序电流值超过 30A，影响照明灯变压器的稳定运行，导致变压器受损。

2.4 单灯运行状态无法及时获取

目前的控制系统仅能简单了解到线路是否合闸、拉闸，无法精确知道每一盏的工作情况，包括电压、电流、功率、耗能等信息无法获取，无法获取每只灯的准确地理信息为故障维护时提供参考。

2.5 巡检手段效率不高

路灯亮灯率考核是道路照明管理维护的主要指标，常规的线路巡查是维护人员日常主要工作内容。由于巡查覆盖面积大、线路长，同时必须晚间巡查，巡查人员费时费力，且存在道路交通安全风险。

2.6 缺乏实时监控和预警手段

现行的巡查管理方式不能及时、准确和全面了解路灯设施的运行状况，缺乏有效故障监控手段，难以预知停电、跳闸、线路漏电、断路、白天误开灯、晚上误关灯、电力供应异常等各类故障。

2.7 缺乏应急保障

无法根据城市的实际情况如：重大活动、节假日、极端天气、季节变化等实际情况及时重新发布照明开关灯时间，不能依据与照明密切相关的环境照度、交通流量、人流密度等实际情况实现分区域、分时、分级的制定开关灯控制预案。

2.8 缺乏统一的云平台进行后期扩展与接口

随着智慧照明、智慧城管、智慧城市建设的快速推进，多功能智慧灯杆逐步将逐步取代现有普通灯杆，道路照明单灯控制系统是未来智慧城市数据的重要接口。而智慧杆安全用电系统，也需要通过云端接入智慧城市系统，为智慧城市提供照明及公共设施数据，需要考虑云平台的安全性、可靠性与开放性。

3 运行道路照明单灯控制系统

针对上述问题，按照先进实用、安全可靠、可扩展、易维护、可操控、模块化结构的设计原则，搭建道路照明单灯控制系统。该系统是基于网络云平台软件、互联网络技术、4G 移动互联网络技术 、HomePlug GreenPhy 宽带电力线载波通信技术、传感器技术、自动控制技术、人工智能等多种通信网络、多种技术架构的有机结合。通过网络平台实现城市道路照明的数字化、智能化、智慧化的管理，是智慧城市不可分割的一个子系 [1]。系统由云平台、通信网络、智能照明灯控制箱、宽带电力线载波单灯控制、传感器等五部分组成。主要设备包括：道路照明单灯控制系统管理软件、安全防护照明管理终端、多功能照明线路控制器、安全防护照明控制器、智能安全电力监控仪等。该系统具有如下功能：

3.1 远程自动控制功能

系统可以通过安全防护照明管理系统进行远程控制，包括对灯具进行开、关灯控制 [2]。开关灯可以按事先设定的控制策略进行。具体包括：日落日出开关灯—根据小区的经纬度位置，精准地安装每天日落日出时间开关灯。全夜灯、半夜灯控制—依据管理需求，可以在半夜按设定的时间自动关灯，便于节能。节假日灯控制—节假日，可以预先下节日开关灯方案，并启动节假日特殊灯开关，营造节日氛围。特殊天气环境自动开灯—在台风、暴雨等特殊天气，可以远程手动开灯，也可以根据天气光照变化自动开灯，确保特殊天气的照明。

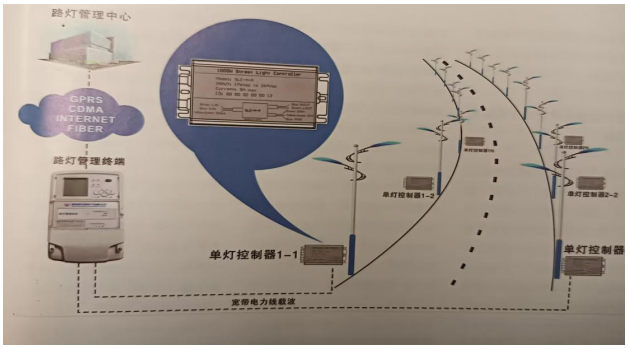


图 2 道路照明单灯控制系统

3.2 节能管理功能

系统安全防护照明控制器具备电能计量功能，可以计算每只灯的日耗电量、月耗电量、年耗电量，并按灯具类型进行统计与报表。对于大功率 LED 灯，如果 LED 灯提供调光输入，还可以按照管理需求进行每条的自动调光，如晚上调光到 40%，借此实现二次节能。调光节能 —按需求进行晚上不同时间段调光，实现节能；精准计量 —可以精准计量每只灯及每类灯的电能耗电量并报表。电能统计数据可以查询到年、月、日及小时，所有电能数据同一时间对标。线损统计—安全防护照明控制器监测的灯具与线路总电能表进行电能对比分析，统计每天线损，及时发现电能的损耗

情况及异常情况，发现窃电现象。

3.3 安全监控功能

道路照明电气线路遍布道路各个角落，电线电缆在运行过程中必定会逐渐老化。部分线缆在施工过程中直接埋于地下，暴雨及潮湿天气有漏电风险，从而形成安全隐患。漏电及绝缘状况变化，一方面容易导致行人触电，另外可能导致触电事故。单灯控制系统主要通过以下三个部件实现安全监控功能：一是漏电传感器，内置于照明控制器内的漏电传感器，感应到漏电后报警，报警信息通过电力线传输到路灯管理终端，并在系统主站显示报警位置及漏电信息，该信息也可以通过手机 APP 进行报警推送。二是用电参数监测，每只照明控制器可以实时监测照明线路的电压、电流、功率等，依据这些电参数，发现电路系统故障。比如漏电或接地，必然导致漏电及接地点附近电压急剧下降（如 160V），并伴随另外一相电压的升高，结合线路电压的不同的变化，及时报警并定位漏电点位置。三是照明线路零序电流监测，在照明线路总开关安装三相智能电能表，实时监测照明线路的总耗能与零序电流，总耗能与各照明控制器监测的电能进行对比，通过线损的变化及零序电流的剧增，判定漏电及接地故障。主动上报该条线路故障事件记录、灯具故障、白天无故亮灯、停电、断电、通讯故障、线路故障、电压超限、功率超限（电压、功率上下限阈值可设置）等故障信息。支持文档导出，可统计分析线路异常状况，定位故障点和故障现象，支持短信息方式发到相关负责人手机上，方便及时处理故障，减少维护成本。

3.4 电缆防盗功能

各地经常发生电缆被盗情况，照明线路由于通过路灯杆接入，盗窃起来更容易。电缆被偷窃，一方面造成经济损失，同时带来各种安全隐患。内置于照明控制线路的宽带电力线载波通信模块或 NB-IOT，一直保持与路灯终端（集中器）的通讯联系。一旦电缆被切断，通信链路也失去，从而可以及时发现电缆被盗犯罪行为。

道路照明单灯控制系统经过近半年的试运行表明，该系统对线路、灯具发现各类故障并及时预警与处理，效果明显，避免了用电安全隐患，并能提供亮灯率、预警事件、离线率、用电量等各类报表。同时能实时监测所有灯具的运行状态，亮灯情况一目了然，还可以监测电缆被挖破、电缆发热、变压器升温、箱变水位的监测、线路绝缘情况等功能，及时预警并处理，所有数据可以永远保存，具有可追溯性。

4 评价道路照明安全用电监测预警系统应用效果

经过近半年的应用和实践，我们的道路照明单灯控制系统安全可靠、效果良好，达到了预期目的。

4.1 管理维护方便

利用物联网、互联网，足不出户即可查看路灯系统运行状况、控制照明设施，也可预先设置各种策略，系统将自动运行并执行指令，还具备电缆防盗监测功能。

4.2 多种照明方式管控

可对道路照明进行灵活分组，按不同时间、不同用途、不同的环境因素而采用相对应的预设策略进行控制，以达到丰富的照明效果[3]。

4.3 数据上传的快速

数据上传速度达 0.5S，成功率达 100%，准确率达 100%。

4.4 精细化管理有效

可以根据需要进行权限分层管理、数据统计与图表分析、资产管理清晰，实现真正意义上的精细化管理。

4.5 实时故障预警可靠

系统及时发送到相应的管理人员手机上，实现快速定位。及时对故障灯进行维修处理。

5 结语

随着 5G 时代的到来，智慧城市、智慧城管、智慧照明建设即将进入快速推进阶段，道路照明设施已经不仅仅是传统市政道路照明功能的载体，也是最好的信息化固件，多功能智慧杆将逐步取代传统灯杆，成为智慧城市基础设施网络，并必将成为城市公共空间最好的硬件载体、组网节点、传输通道、数据入口和信息终端。而智慧灯杆将实现 24 小时供电、杆内强电弱电交织、杆体构建纵横交错、各功能区块总功率数倍于 LED 路灯[4]，因此，用电安全风险亦随之显著上升。在智慧灯杆网络体系设置安全、可靠、高效的道路照明单灯控制系统，实现路灯的远程控制、故障主动报警、灯具线缆防盗等功能，不仅能大幅度节约电力能源，节省维护成本，提高城市照明管理水平，而且对确保城市照明设施安全运行，防止涉电事故发生具有重要的现实意义。

参考文献

1. 宋洪儒，王宜怀，杨凡.基于窄带物联网的智能路灯控制系统设计与实现[J].现代电子技术.2019.42:172-176.
2. 肖晓鹏.基于单灯控制的智慧照明系统在高速公路主线照明中的应用与展望[J].广东公路交通.2023.49(2):26-31.
3. 青岛美仑电子.基于电力载波技术的智能路灯单灯控制解决方案[J].2021.9.
4. 耿波.基于物联网技术的智能LED路灯控制系统研究[J].现代制造技术与装备.2019.7:120-121.

 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i3.6600

The mechanism and optimization path of digital traceability technology in food supply chain to ensure food safety

Ying Zhou

Two River Cloud Top International Hotel Management Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract

With the escalating severity of food safety concerns, global attention on food supply chain management and traceability technologies has been growing. As a crucial safeguard for food security, digital traceability systems have gained widespread adoption across nations. By digitally documenting and tracking the entire lifecycle of food products—from production, processing, and transportation to distribution and consumption—these systems enable rapid response mechanisms and effective solutions to food safety issues. This paper examines the operational mechanisms of digital traceability in food supply chains, analyzes its advantages and challenges in ensuring food safety, and proposes optimization strategies tailored to contemporary technological contexts.

Keywords

food supply chain; digital traceability technology; food safety; mechanism of action; optimization path

食品供应链数字化追溯技术对保障食品安全的作用机制与优化路径

周盈

两江云顶国际酒店管理有限公司，中国 · 重庆 400000

摘　要

随着食品安全问题的日益严峻，全球对食品供应链管理和追溯技术的关注不断增加。食品供应链数字化追溯技术作为确保食品安全的重要手段，已经逐渐在各国得到广泛应用。它通过对食品从生产、加工、运输、销售到消费的全过程进行数字化记录和实时追踪，提供了对食品安全问题的快速响应和有效处理机制。本文探讨了食品供应链数字化追溯技术的作用机制，分析了其在保障食品安全方面的优势与挑战，提出了基于当前技术背景下的优化路径。

关键词

食品供应链；数字化追溯技术；食品安全；作用机制；优化路径

1 引言

食品安全问题一直是全球范围内关注的焦点，尤其是在食品生产、加工、运输等环节频繁出现安全隐患的情况下，如何保障食品的安全性成为社会关注的核心问题之一。近年来，随着信息技术的快速发展，数字化追溯技术作为一种新兴的食品安全管理手段，逐渐进入各大食品供应链中。通过数字化技术，食品供应链的每一个环节都能实现实时追踪，从而提高食品安全管理的透明度和可控性。数字化追溯技术不仅能追踪食品的来源、加工过程和流通路径，还能够在出现问题时及时追溯问题源头，减少食品安全事故的发生。然而，尽管该技术为保障食品安全提供了新的可能，但在实际应用中依然存在诸多挑战。如何进一步优化食品供应链数字化追溯技术，提高其在食品安全管理中的作用，是当前亟待解决的问题。本文将分析食品供应链数字化追溯技术在保障食品安全方面的作用机制，并探讨如何通过优化路径提升其应用效果。

2 食品供应链数字化追溯技术的作用机制

2.1 数字化追溯技术的基本概念与原理

食品供应链数字化追溯技术利用信息技术对食品的生产、加工、运输、储存等各个环节进行全程监控和记录，从而实现对食品来源、生产过程和流通过程的实时追溯。通过 RFID 技术（射频识别）、条形码技术、二维码技术、物联网技术等手段，食品可以在各个环节中被唯一标识，并与后台的数据库系统连接。这样，所有相关信息，包括食品的生产日期、原材料来源、加工厂、运输路线等都可以被精准记录和存储。

数字化追溯系统一般包括数据采集、数据存储和数据

【作者简介】周盈（1983–），女，中国四川德阳人，硕士，中级职称，从事营养学、酒店管理研究。

处理三个主要部分。在食品的生产、加工和流通过程中，RFID 标签、条形码、二维码等技术被用来标识每一批食品，并通过物联网技术实时采集和传输数据。通过数据库系统存储这些信息，结合云计算平台和大数据分析技术，可以实现对食品的追踪、监控和管理。

通过这一技术，消费者和监管部门可以随时了解食品的生产和流通过程，确保食品的来源、处理和销售符合食品安全标准。若在流通过程中发生食品安全事件，相关部门可以迅速通过追溯系统定位问题源头，及时采取措施，如召回不合格食品或封锁问题批次的流通渠道。

2.2 数字化追溯技术在食品安全中的作用

食品供应链数字化追溯技术对于提升食品安全管理水平具有重要作用，具体体现在信息透明化、过程可视化和高效追溯三个方面。

首先，信息透明化是数字化追溯技术的一项核心优势。通过数字化技术，消费者可以通过扫描食品包装上的二维码或条形码，迅速获取产品的详细信息，包括生产日期、原材料来源、加工厂、运输情况等。这样一来，消费者能够了解他们购买的食品的来源，增强其对食品安全的信任感。这不仅促进了食品企业的诚信建设，也提高了消费者对品牌的忠诚度。

其次，数字化追溯技术能够使食品流通过程实现可视化。食品在运输、储存等环节的状态（如温度、湿度、震动等）可以实时监控，通过传感器技术收集这些数据后上传至云端，管理人员可随时查看，确保食品在流通过程中的质量稳定。例如，某些食品（如生鲜食品）对温度特别敏感，如果在运输过程中温度超标，系统会自动报警，从而避免食品变质或污染。

最后，数字化追溯技术能够在发生食品安全事件时发挥重要作用。当出现食品质量问题时，追溯系统能够迅速定位问题源头，追踪到具体的生产批次、加工环节、仓储条件和流通路径，从而缩小问题范围并及时采取措施。精准的追溯功能可以有效减少损失，确保不合格食品能够被及时召回，避免食品安全事件的蔓延和扩大。

2.3 数字化追溯技术在食品安全管理中的优势

相比传统的食品安全管理方式，数字化追溯技术具有多方面的优势。

提高信息流通速度和效率：传统食品安全管理主要依赖人工记录和检查，信息传递通常较慢，且容易出错。而数字化追溯技术能够通过自动化系统将信息实时更新和共享，信息流通速度大大加快，提高了管理效率。各个环节的数据实时传输与处理，使得食品生产、运输、销售各环节的信息即时共享和处理。

提高食品安全监管的精准度：传统模式下，食品安全事故往往因信息不流畅或数据不全导致调查难度增大。数字化追溯技术能够提供全面、详细的数据支持，从而提高监管部门的精准度和高效性。通过对各环节的实时监控和记录，监管部门可以快速识别潜在问题，及时采取措施进行干预。

增强供应链的可控性：食品企业在采用数字化追溯技术后，可以对供应链中的每一个环节进行实时监控。企业不仅可以确保食品在生产、加工、储存等环节符合安全标准，还能有效掌控原材料的采购、加工过程的质量和食品流通过程中的环境因素，确保产品质量的稳定和一致性。

减少食品安全事故的发生：数字化追溯技术通过实时监控、数据分析和智能报警系统，有效降低了人为失误带来的风险，减少了由于操作失误、储存不当等原因引发的食品安全事故。通过数据的精准跟踪，企业能够及时发现和修复供应链中的潜在风险，从而提高整个行业的食品安全水平。

提高应急响应能力：在发生食品安全事故时，数字化追溯技术可以帮助监管部门和企业迅速响应，定位问题的源头。借助追溯系统，食品的流通路径可以被迅速追溯，从而有效防止事故扩大，快速召回问题食品，降低食品安全事故带来的社会和经济影响。

3 食品供应链数字化追溯技术的优化路径

3.1 建立统一的标准化体系

数字化追溯技术在食品安全管理中的应用面临的一个重要问题是标准化的缺失。由于各地区、不同企业的数字化追溯系统采用了不同的数据格式、标识符和信息流通方式，导致这些系统之间的数据不兼容，信息共享困难。当前，不同的供应链和系统由于没有统一的标准，往往无法实现数据的无缝对接，导致食品供应链的信息孤岛现象。这使得相关部门难以有效进行全链条的食品安全监控，进而降低了食品安全事件发生时的响应速度和精准度。

为了有效解决这一问题，建立统一的数字化追溯标准体系显得尤为重要。统一的标准应当规范追溯系统中的数据格式、编码规则、信息流通方式等，从而确保跨平台、跨系统的数据共享和信息互通。例如，在标准化框架中，明确规定每一类食品产品的追溯标识符（如条形码、二维码或 RFID 标识），统一规定数据传输的格式、接口协议等，确保不同食品生产商、运输商、销售商等系统能够共享数据并协同工作。此外，统一的标准化体系有助于推动行业间的数据兼容性和信息流动性，进而增强食品供应链的透明度，提升消费者对食品安全的信任度。

总之，建立统一的数字化追溯标准体系是解决食品供应链信息孤岛问题的关键，它能够实现不同系统之间的互联互通，推动数据共享，提高食品安全管理的效率和准确性，也为食品安全监管提供科学依据。

3.2 加强信息系统的安全性与可靠性

随着数字化追溯系统的广泛应用，信息系统的安全性和可靠性成为关键。由于这些系统涉及大量的敏感数据，包括食品的来源、生产加工流程、运输路径、销售渠道等，一

且这些数据遭到泄露、篡改或丢失，将严重影响系统的可信度和公信力。因此，确保数字化追溯系统的数据安全和操作可靠性是至关重要的。

当前，许多数字化追溯系统在信息安全方面仍面临隐患，特别是在系统遭遇恶意攻击、数据泄露、操作错误或技术漏洞时，可能导致严重的安全问题。为了保障系统的安全性，需要在多个方面加大投入。首先，必须加强对信息系统的加密技术和身份认证技术的应用，确保数据的传输过程不会被第三方窃取或篡改。例如，采用 SSL 加密协议保护数据的传输，使用多重身份认证技术确保只有授权用户能够访问敏感数据。其次，系统应该具备实时监控和日志记录功能，及时识别和防范异常活动，如非法访问、数据修改等，防止数据被不当篡改。

此外，定期对系统进行安全审查和漏洞检测是确保数字化追溯系统稳定性的重要措施。通过定期的安全评估和渗透测试，能够及时发现并修补系统中的潜在漏洞，确保系统的长期稳定运行。企业还应建立应急响应机制，当发生安全事件时，能够快速反应并采取相应措施，避免事态扩大。

加强数字化追溯系统的安全性和可靠性，不仅能提高食品安全管理的精度，还能提升消费者对食品安全的信任度，增强市场竞争力。

3.3 推动智能化技术与追溯系统的融合

随着物联网、人工智能、大数据等技术的快速发展，智能化技术已经成为提升食品安全管理效率的重要工具。在数字化追溯系统中引入智能化技术，能够极大地提高系统的自动化程度和智能决策能力，为食品安全管理提供有力的技术支持。

物联网技术可以在食品生产、加工、运输等各个环节实时获取食品的环境数据（如温度、湿度等）和位置信息，并将这些数据通过无线网络传输到中央数据系统。通过物联网技术，追溯系统能够实时监控食品在整个供应链中的流动情况，确保食品在运输、存储等环节不受不良环境因素的影响。

大数据分析技术则能够对收集到的海量追溯数据进行深入分析，识别潜在的食品安全风险。通过对历史数据、环境数据等进行综合分析，系统可以预测未来可能发生的食品安全问题，提前做好预防工作。例如，在某个区域的某一类食品可能面临运输途中变质的风险时，系统能够自动发出预警，提醒相关人员采取适当措施，防止问题的发生。

人工智能技术则能够利用机器学习和数据挖掘方法对食品安全问题进行自动化识别与分析。AI 技术能够分析大量的历史数据，识别出常见的风险因素，并为监管人员提供自动化的决策支持。例如，AI 可以根据历史的安全事件数据，预测哪些环节可能会出现食品安全问题，提出合理的改进方案，并为决策者提供优选的解决方案。

通过引入智能化技术，数字化追溯系统将变得更加高效、精准，能够实现对食品安全的主动监控和管理，提前识别和应对风险，降低事故发生的可能性，提升食品安全监管的整体水平。

4 结语

食品供应链数字化追溯技术的应用对保障食品安全起到了至关重要的作用，它通过信息透明化、过程可视化和追溯高效性，为食品安全管理提供了新的思路和方法。然而，当前在技术应用中仍存在诸多挑战，如标准化不足、信息安全隐患、系统之间的不兼容等。为了解决这些问题，未来需要进一步完善标准体系，加强信息安全建设，并推动智能化技术的融合应用。通过不断优化数字化追溯技术，能够提升食品安全管理的效率和效果，为广大消费者提供更安全、可靠的食品保障。

参考文献

[1] 陈子龙,单小莉.牛奶供应链中三聚氰胺污染源追溯与高效检测技术研究[J].现代食品,2024,30(24):201-203.

[2] 李亮,陈宁娟,侯君瑞,等.农产品供应链平台建设理论架构与实践探索[J].农业科技管理,2024,43(06):89-95.

[3] 王娟娟,曲健.粮食供应链韧性提高与产销空间布局优化[J].开发研究,2024,(06):47-58.

[4] 张莉会.供应链中典型呼吸非跃变果蔬品质劣变特异性表征机制及其管控研究[D].江南大学,2024.

[5] 周倩.供应链视角下L木业公司库存管理优化研究[D].南华大学,2024.